

**PROPUESTA DE VIABILIDAD ACADÉMICA Y DE INFRAESTRUCTURA DE UN  
LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE ACEITE  
LUBRICANTES UBICADO EN LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE  
SANTANDER**

**JULIETH CAMILA MENDOZA PELAYO  
RAFAEL ANTONIO CORREDOR BÁEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD FISICOMECANICA  
ESCUELA DE MECÁNICA  
BUCARAMANGA  
2022**

**PROPUESTA DE VIABILIDAD ACADÉMICA Y DE INFRAESTRUCTURA DE UN  
LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE ACEITE  
LUBRICANTES UBICADO**

**JULIETH CAMILA MENDOZA PELAYO  
RAFAEL ANTONIO CORREDOR BÁEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico**

**Director**

**FRANCISCO JOSE SALDIVIA SALDIVIA  
Magíster en Gerencia de Mantimento**

**Codirector**

**JORGE LUIS CHACÓN VELASCO  
Doctor en Procesos Termofluidodinamicos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FISICOMECHANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA  
BUCARAMANGA**

**2022**

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mi padre José Corredor y mi madre Yolanda Báez, después de todo sin ellos nada de esto sería posible.

**Rafael Antonio Corredor Báez**

Es mi deseo dedicarle este trabajo a mi madre Gladys Pelayo Blanco y mi hermana Nayareth Jessenia Pelayo Blanco, por el apoyo incondicionalmente brindado.

**Julieth Camila Mendoza Pelayo**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi madre Yolanda Báez por brindarme sus consejos que a inicio de carrera fueron fundamentales para poder culminarla.

A mi padre José Corredor por apoyarme en cada uno de mis proyectos personales sin su ayuda nada de esto hubiera sido realidad.

A mis hermanos John, José y Mari quienes siempre estuvieron aportando palabras de aliento y consejos para cada uno de los altibajos que se fueron presentando.

A mis abuelos paternos y mi tía Luz Dary que siempre aportaban un granito de arena para esta vida de foráneo, cada cosita que me brindaban en mis regresos al estudio fue de gran ayuda.

A todos los maestros que me encontré a lo largo de mi carrera, aportaron conocimientos y experiencias que influyeron de manera positiva en mi desarrollo personal.

A mis compañeros de estudio en la universidad, sin ellos el camino hubiera sido menos llevadero, cada jornada de estudio, cada traspasada, cada trabajo se gozaba un poco más.

A nuestro director el Ingeniero Francisco Saldivia quien siempre sacaba un poco de su tiempo para poder retroalimentar nuestra investigación.

Finalmente, a mi compañera de proyecto por su esfuerzo en este trabajo de investigación y paciencia para conmigo.

**Rafael Antonio Corredor Báez**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi madre por su paciencia, amor y comprensión durante todo este proceso, sus palabras de aliento me sirvieron en los momentos más importantes.

A mi hermana por sus consejos, ayudas y alegrías que me dio desde el principio y hasta el final de toda esta travesía.

A mi familia en general que con cada experiencia compartida me enseñó que es lo que quiero para mi vida, cada anécdota vivida aportó un poco a este proceso.

A mis compañeros de estudio por acompañarme en los momentos en que más los necesitaba académica y personalmente.

A mis maestros, sus lecciones académicas y sus consejos de vida fueron indispensables en mi formación como ser humano.

A nuestro director por su paciencia, dedicación y esfuerzo

A mi compañero por su esfuerzo en este trabajo de investigación y su apoyo en los momentos críticos durante la carrera.

Finalmente, a mi sobrino Liam, gracias a su existencia tuve la serotonina necesaria para finalizar este proyecto.

**Julieth Camila Mendoza Pelayo**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	18
4. MARCO TEÓRICO .....	20
4.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN .....	20
4.1.1. A Nivel Internacional. ....	20
4.1.2 A Nivel Nacional.....	21
4.1.3 A Nivel Local. ....	22
4.2 REFERENTES TEÓRICOS .....	23
4.2.1 Lubricación.....	23
4.2.1.1 Definición. ....	23
4.2.1.2 Tipos de Lubricantes.....	23
4.2.1.2.1 Sólidos .....	23
4.2.1.2.2 Pastas .....	24
4.2.1.2.3 Grasas: .....	24
4.2.1.2.4 Revestimientos .....	24
4.2.1.2.5 Líquidos .....	24
4.2.1.3 Aditivos de Lubricantes.....	25
4.2.1.4 Análisis de lubricantes. ....	25
4.2.2 Mantenimiento Predictivo.....	27
4.2.2.1 Análisis de Lubricantes en el Mantenimiento Predictivo. ....	27

4.2.3 Laboratorios .....	28
4.2.3.1 Definición. ....	28
4.2.3.2 Tipos de pruebas. ....	30
5. DESARROLLO DE LA PROPUESTA EN LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER SEDE GUATIGUARA .....	35
5.1 ELECCIÓN DE EQUIPOS PARA LAS PRUEBAS.....	36
5.1.1 Equipos Fijos .....	36
5.1.1.1 Prueba Punto de Inflamación.....	36
5.1.1.1.1 Prueba de Copa Abierta.....	37
5.1.1.1.2 CLA 5.....	38
5.1.1.1.3 Campana Extractora de Gases.....	40
5.1.1.2 Espectrometría de emisión atómica con electrodo de disco giratorio (RDE). .....	41
5.1.1.2.1 Electrodo de Disco Rotatorio (MSR Rotator) .....	41
5.1.1.2.2 Serie SpectrOil 100 - (RDE-OES) Analizador elemental.....	42
5.1.1.3 Viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos. ....	43
5.1.1.3.1 Viscosímetro Capilar de Vidrio.....	44
5.1.1.3.2 Baño de Calibración Estándar. ....	44
5.1.1.3.3 Viscosímetro Saybolt UTAS-0300.....	45
5.1.1.4 Método de Prueba Estándar para Agua en Petróleo Crudo por Valoración Coulométrica de Karl Fischer.....	47
5.1.1.4.1 Valorador Coulométrico C20S Karl Fischer. ....	47
5.1.1.4.2 Titulador Científico Culombímetro Karl Fischer HI 934. ....	49
5.1.1.5 Prueba de Número de Básicos Totales TBN. ....	50
5.1.1.5.1 Comprobador de Aceite Lubricante Automático TBN ASTM D2896. ....	51
5.1.1.6 Prueba Método de Cuatro Bolas.....	53
5.1.1.6.1 Maquina de Prueba de Presión Extrema de Cuatro Bolas.....	53
5.1.1.6.2 Probador de cuatro bolas (Koehler Instrument Company, Inc.) .....	54
5.2 EQUIPOS MÓVILES.....	55
5.3 ESTUDIO DE MERCADO.....	57

5.3.1 Objetivo del Estudio de Mercado .....	57
5.3.2 Fuentes de Información. ....	57
5.3.3 Tamaño de la Muestra. ....	58
5.3.4 Encuestas. ....	59
5.3.5 Resultados. ....	59
5.3.6 Análisis de los Resultados .....	64
5.4 UBICACIÓN .....	65
5.4.1 Infraestructura Física. ....	66
5.5 ANÁLISIS DE COSTOS.....	71
5.5.1 Costos Personales. ....	71
5.5.2 Costos de Equipos. ....	72
5.5.3 Costos Materia Prima.....	72
5.5.4 Costo Mobiliario. ....	73
6. CONCLUSIONES .....	74
7. RECOMENDACIONES.....	75
BIBLIOGRAFÍA.....	76
ANEXOS.....	79

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Equipo automático para punto de inflamación en copa abierta Cleveland, modelo ACO-8 .....	37
Figura 2. Medidor del punto de inflamación e incendio Cleveland CLA 5 .....	39
Figura 3. Campana extractora .....	40
Figura 4. Rotador de electrodo MSR .....	41
Figura 5. SpectrOil 100 Series .....	42
Figura 6. Viscosímetro semicro de Cannon Manning .....	44
Figura 7. Baño de viscosidad estándar KOEHLER.....	45
Figura 8. UTAS-0300 Viscosímetro Saybolt .....	46
Figura 9. Valorador coulométrico C20S Karl Fischer .....	48
Figura 10. Titulador científico culombimétrico Karl Fischer HI 934 .....	49
Figura 11 Comprobador de aceite lubricante automático TBN ASTM D2896 .....	52
Figura 12. Probador automático de cuatro bolas para la prevención del desgaste (WP), presión extrema (EP) y prueba de comportamiento de fricción .....	53
Figura 13. Probador de cuatro bolas.....	54
Figura 14. Grafica primera pregunta de la encuesta.....	60
Figura 15. Gráfica segunda pregunta de la encuesta .....	61
Figura 16. Grafica tercera pregunta de la encuesta .....	62
Figura 17. Grafica cuarta pregunta de la encuesta .....	62
Figura 18. Grafica quinta pregunta de la encuesta .....	63
Figura 19. Grafica sexta pregunta de la encuesta .....	64
Figura 20. Fotografía entrada principal Sede Guatiguara .....	66
Figura 21. Zonas del laboratorio .....	68
Figura 22. Zonas de riesgo .....	69

Figura 23. Distribución del laboratorio por zonas.....70

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Especificaciones equipo automático para punto de inflamación .....	38
Tabla 2 Especificaciones técnicas CLA 5 .....	39
Tabla 3. Especificaciones MSR Rotator.....	42
Tabla 4 Especificaciones SpectrOil 100.....	43
Tabla 5. Especificaciones técnicas .....	46
Tabla 6. Especificaciones técnicas Valorador coulométrico C20S Karl Fischer ....	48
Tabla 7. Especificaciones tecnicas .....	50
Tabla 8. Parámetros técnicos TBN ASTM D2896.....	52
Tabla 9. Especificaciones tecnicas Probador de cuatro bolas(Koehler) .....	55
Tabla 10. Equipos móviles .....	55
Tabla 11. Costos personales .....	71
Tabla 12. Costos de equipos .....	72
Tabla 13. Costos materia prima .....	72
Tabla 14. Costos de mobiliario.....	73

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. Preguntas Realizadas en la Encuesta .....	79
ANEXO B. Modelo practica de laboratorio análisis de aceites lubricantes para la determinación de la viscosidad .....	81
ANEXO C. Plano de laboratorio de análisis y caracterización de aceites lubricantes .....	91

## RESUMEN

**TÍTULO:** PROPUESTA DE VIABILIDAD ACADÉMICA Y DE INFRAESTRUCTURA DE UN LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE ACEITE LUBRICANTES UBICADO EN LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER\*

**AUTOR:** RAFAEL ANTONIO CORREDOR BÁEZ, JULIETH CAMILA MENDOZA PELAYO\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Lubricación, Laboratorio, Equipo, Pruebas.

### **DESCRIPCIÓN:**

El presente trabajo de grado tiene como finalidad presentar el estudio para la implementación de un laboratorio de análisis de lubricantes dentro de las instalaciones de la UIS sede Guatiguara, basándose en la escasez de este tipo de espacios a lo largo de la carrera, para ello es necesario comprender los elementos mínimos que deben considerarse en la creación de este tipo de espacios.

El desarrollo del proyecto parte de la identificación de las pruebas que se realizarían, luego se documentan los equipo he implementos para llevarlas a cabo, en base a ello se sugiere la compra de maquinaria, así como la distribución de cada uno dentro del laboratorio, en seguida se hacen una serie de encuestas a diferentes empresas para identificar que pruebas son las más solicitadas y así lograr prestar el servicio de extensión.

Finalmente se desarrolla un costo aproximado y una posible guía para una de las pruebas, para el correcto uso del equipo, dado que un buen procedimiento de trabajo es indispensable para la seguridad, con esta se busca que el estudiante obtenga explícitamente información a través de la observación exploración y experimentación por medio del desarrollo de esta en donde se ejemplifica el proceso a seguir con el uso del equipo, con el único propósito de que el estudiante se adapte con equipos que pueda encontrar en el campo laboral.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Fisicomecanica. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: José Francisco Saldivia Saldivia, Magíster en Gerencia de Mantenimiento. Codirector: Jorge Luis Chacón Velasco, Doctor en Procesos Termofluidodinamicos

## ABSTRACT

**TITLE:** PROPOSAL FOR ACADEMIC VIABILITY AND INFRASTRUCTURE OF A LABORATORY FOR THE CHARACTERIZATION AND ANALYSIS OF LUBRICATING OIL LOCATED AT THE UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER\*

**AUTHOR:** RAFAEL ANTONIO CORREDOR BÁEZ, JULIETH CAMILA MENDOZA PELAYO\*\*

**KEY WORDS:** Lubrication, Laboratory, Equipment, Tests.

### DESCRIPTION:

The purpose of this project is to present the study for the implementation of a lubricant analysis laboratory within the facilities of the UIS, Guatiguara headquarters, based on the scarcity of this type of space throughout the career, for this, it is necessary to understand the minimum elements that must be considered in the creation of this type of space.

The development of the project starts with identifying the tests that would be carried out, then the equipment and implements to carry them out are documented. Based on this the purchase of machinery is suggested, as well as the distribution of each within the laboratory. Next, a series of surveys are made to different companies to identify which tests are the most requested and thus be able to provide the extension service.

Finally, an approximate cost is developed and a possible guide for each one of the tests for the correct use of the equipment, given that a suitable work procedure is essential for safety, with this it is sought that the student explicitly obtain information through the observation exploration and experimentation through the development of this where the process to follow with the use of the equipment is exemplified, with the sole purpose that the student adapts with equipment that can be found in the workplace

---

\* Degree work

\*\* Faculty of Physicomechanics. School of Mechanical Engineering. Director: José Francisco Saldivia Saldivia, Master in Maintenance Management. Co-director: Jorge Luis Chacón Velasco, Doctor in Thermofluid Dynamic Processes

## INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad se ha podido observar que el ser humano ha buscado encontrar la forma de facilitar y preservar el uso de sus herramientas, ya sea desde la grasa animal, aceite de oliva hasta el uso de aditivos para mejorar la calidad de los lubricantes haciéndolos útiles para la masiva producción de máquinas que el siglo XX género.

Gracias a la masiva producción de máquinas comenzó a ser necesario plantear un análisis de lubricantes para generar una advertencia anticipada de los problemas que podrían surgir mientras el equipo se encuentra en movimiento, el buen uso de estos análisis genero menos paradas innecesarias en planta y ahorro de tiempo y dinero para las empresas que decidieron utilizar en su plan de mantenimiento el uso de esta propiedad.

Debido a que actualmente la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander no cuenta con un laboratorio de análisis y caracterización de lubricantes que nos permita mediante un conjunto de técnicas y acciones establecidas obtener beneficios como la optimización de la cantidad de lubricante a utilizar en fábricas, gestión de residuos y un mayor respeto por el medio ambiente, este proyecto busca analizar la viabilidad técnica y económica de la creación de un laboratorio que será ubicado en la sede guatiguara de la universidad Industrial de Santander contribuyendo a la comunidad estudiantil.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los aceites lubricantes se caracterizan por ser líquidos viscosos utilizados principalmente para disminuir la fricción que se crea entre dos superficies móviles formando una capa que impide el contacto entre ellas, permitiendo movimientos a elevadas temperaturas y presiones.

A lo largo de la historia el interés sobre los lubricantes data desde los egipcios cuando era utilizado aceite de oliva para simplificar el movimiento de grandes piedras con troncos y otros objetos pesados, en esta época también eran utilizados el cebo de los animales para lubricar los ejes de las carretas y carros de batalla. Históricamente la materia prima de los lubricantes se obtenía de grasas animales y aceites minerales, debido a la creciente industrialización del mercado y el aumento exponencial de los derivados del petróleo comenzaron a surgir nuevas problemáticas causando que los lubricantes utilizados con anterioridad no cumplieran con los nuevos requerimientos.

En la actualidad la demanda por este de tipo de estudio sigue avanzando, por eso se hace necesario la creación de laboratorios dedicados exclusivamente a un conjunto de técnicas y acciones establecidas para el análisis de las capacidades propias del aceite a partir de estudio de sus propiedades obteniendo beneficios como la optimización de la cantidad de lubricante a utilizar en fábricas, gestión de residuos y un mayor respeto por el medio ambiente. Aprovechando esta coyuntura se realizará un estudio de factibilidad técnica y económica para la creación de un laboratorio de caracterización y análisis de aceites lubricantes donde se contribuirá en gran parte a la comunidad estudiantil de la Universidad Industrial de Santander enfocándonos en los programas de pregrado, posgrado y maestría de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Formular una propuesta de viabilidad académica y de infraestructura de un laboratorio de caracterización y análisis de aceite lubricantes ubicado en la Universidad Industrial de Santander sede Guatiguará en la ciudad de Bucaramanga-Santander con el propósito de realizar docencia, investigación y extensión de forma segura, estructurada y en un ambiente cómodo

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el equipo y procedimientos según normas necesarias para el análisis de aceites lubricantes a través de un estudio técnico con la finalidad de realizar trabajos de investigación y ofrecer servicios de extensión que responda a las necesidades del mercado
- Diagnosticar la necesidad de procedimientos de análisis de aceites lubricantes a través de un estudio de mercado para ofrecer el servicio de extensión.
- Establecer la distribución de los bancos de pruebas de acuerdo a la ubicación de los sistemas de ventilación, extracción de gases e indicaciones de equipos, acoplándose con los equipos existentes y equipos necesarios, en el nuevo laboratorio de lubricación dentro de las instalaciones del laboratorio de investigación SICE ubicado en la sede de Guatiguara
- Elaborar un estudio acerca del costo del proyecto haciendo un análisis de los costos de equipos e implementos necesarios, cumpliendo los requerimientos para la implementación de pruebas a agentes externos de la universidad.

### 3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Con respecto a la acreditación que la universidad está llevando a cabo y la falta de laboratorios en esta rama de nuestra carrera para la realización de prácticas, resulta de especial interés la creación de estos espacios para la divulgación del conocimiento, es muy conveniente conocer las principales pruebas que se le practican a los lubricantes, que medidas y como se debe ejecutar cada una de ellas, cuáles son las fallas más habituales y que se deben de hacer cuando se presenten para así ir preparando al estudiante a los diferentes problemas de la vida laboral.

La presente investigación surge de la necesidad de estudiar los lubricantes industriales que son usados para la lubricación de partes mecánicas, con el propósito de identificar como y cuando se tienen que realizar las pruebas habituales, tal como se hace con el mantenimiento preventivo de diferentes equipos.

La investigación busca proporcionar información que será útil tanto para la comunidad estudiantil como para la industria, proporcionándoles un lugar confiable con equipo de calidad y personal calificado para la realización de pruebas habituales de lubricantes en su composición y vida útil.

Debido a que no se cuenta aún con espacios en los que se realicen este tipo de estudios en la escuela de Ingeniería mecánica, el presente trabajo es conveniente para afianzar un mayor conocimiento sobre los procesos que se deben de llevar a cabo para el correcto funcionamiento de los lubricantes.

El trabajo tiene una utilidad metodológica ya que podrían realizarse futuras investigaciones a nivel de pregrado, maestría y doctorado que utilizaran metodologías compatibles, de manera que se dejaría el camino para que se profundice cada vez más en esta rama del conocimiento, tanto por estudiantes de la universidad como personal externo a ella.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

**4.1.1. A Nivel Internacional.** Según Herrera De León (2007) en su proyecto denominado “Estudio de factibilidad para la creación de un laboratorio de análisis de lubricantes automotrices en Guatemala” tuvo como objetivo general evaluar mediante un estudio técnico y económico la factibilidad de implementar un laboratorio dedicado al análisis de lubricantes provenientes de la industria del transporte en Guatemala.

Para ello se basó en realizar análisis de muestras de lubricantes más comunes y lubricantes que ofrecen la información más relevante para el mantenimiento, después de realizar estos análisis se implementa un buen programa de mantenimiento predictivo ofreciendo información concreta sobre el estado y funcionamiento del equipo.

En conclusión, este trabajo crea una estructura administrativa para la implementación de este laboratorio donde este mismo sea parcial, moderno y rápido empujándolo para que tenga un alto rendimiento y se pueda evaluar de forma técnica cuáles serán las condiciones y equipos necesarios para poder ser efectuado.

**4.1.2 A Nivel Nacional.** Según Giraldo y Rojas (2005) en su proyecto denominado “Diseño de un laboratorio de combustibles y lubricantes en la universidad nacional de Colombia sede Manizales” tiene como objetivo general proponer el diseño de un laboratorio para la caracterización físico-química y evaluación de la calidad de combustibles y lubricantes (fósiles y sintéticos) para la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.

Para el ello el proyecto se basó en una fase investigativa donde trato de indagar diferentes tipos de laboratorios de combustibles y lubricantes de carácter oficial que existen en el país acerca de cuáles son las pruebas más solicitadas por los sectores industrial y comercial para el análisis de sus productos.

En conclusión, lo primero que se estableció de este proyecto fue la ubicación y necesidades de espacio del laboratorio, también se redactó un manual para el desarrollo de actividades primordiales guiándose por las normas ASTM, estas normas fueron escogidas por su gran aplicabilidad y gran prestigio a nivel mundial, para finalizar también se tuvo en cuenta almacenamientos de materias primas y residuos además de plasmar un plano de riesgos y puntos críticos.

Según HINCAPIE, Jorge; MONTOYA Eliecer y CORREA Gladys (2013) en su proyecto denominado “Laboratorio para el monitoreo y análisis de lubricantes en la planta guayabal de la empresa grupo familia Medellín” tiene como objetivo general implementar un laboratorio dedicado al análisis y monitoreo de los lubricantes usados provenientes de los equipos de producción y conversión de papel, de la planta Guayabal (Medellín) del Grupo Familia, para determinar su condición y así aumentar la confiabilidad de estos equipos.

Para ello el proyecto se basa en una metodología aplicada ya que en este se desarrolla los principales objetivos que permiten montar una estrategia para el monitoreo y análisis de aceites en los equipos productivos de la empresa Grupo Familia Sancela planta Guayabal.

En conclusión, como ellos mismos lo definen el laboratorio será utilizado como una ayuda para monitorear variables físico-químicas y obtener condiciones de equipos y lubricantes para garantizar su confiabilidad y poder determinar condiciones de aceites, frecuencias de fallas, Incrementación de eficiencias y reducción de paradas no programadas.

**4.1.3 A Nivel Local.** Según Torres y Quitian (2022) en su proyecto denominado “Propuesta para la implementación de un laboratorio de fabricación digital FABLAB en la escuela de ingeniería mecánica” tiene como objetivo general estudiar y proponer la implementación de un laboratorio de fabricación digital Fab Lab en la escuela de ingeniería mecánica.

Para el desarrollo de este proyecto se tuvieron en cuenta distintos aspectos relacionados con la universidad y la escuela de ingeniería mecánica, desde la importancia de promover este nuevo concepto tecnológico hasta los beneficios académicos que se podrían obtener, estableciendo ubicación, documentación existente y conceptos de diseño pertinentes.

En conclusión, este proyecto busca desarrollar procedimientos generalizados del correcto uso de las maquinas, también se busca que a través de la observación el estudiante pueda desarrollar guías didácticas con el propósito de ser estimulado hacia el uso de las nuevas tecnologías.

## 4.2 REFERENTES TEÓRICOS

El estudio acerca de las propiedades e importancia de la lubricación ha buscado comprenderse desde distintos campos de investigación. No obstante, para comprender que estudios se tienen que realizar se tiene que definir algunos conceptos claves en el tema de estudio. Entre los cuales se encuentran propiedades de los lubricantes, aditivos, así como los análisis más comunes que se realizan para el control de propiedades.

### 4.2.1 Lubricación

**4.2.1.1 Definición.** La lubricación es una operación de mantenimiento que se usa para reducir la fricción y como resultado, prevenir la resistencia entre dos partes móviles. Para ello se introduce un fluido que crea una película que separa las superficies de contacto logrando la disminución de la fricción, de esta forma se minimiza el desgaste de las piezas, la temperatura por fricción y se protegen los componentes de la corrosión y de la contaminación.

**4.2.1.2 Tipos de Lubricantes.** Es muy importante conocer sobre las características y forma de uso de cada uno de los lubricantes que existen en la actualidad, estos lubricantes se dividen según su composición en:

**4.2.1.2.1 Sólidos:** Este modelo de lubricante debe ser empleado en sistemas que presenten fricción mixta (sólida y fluida), es seco y se emplean principalmente en piezas que trabajan en condiciones de temperatura y presión muy elevadas, en los que lubricantes líquidos o semisólidos no cumplirían correctamente la función, su presentación más común es en polvo<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> POCHTECA. Tipos de lubricantes industriales en la actualidad. [En línea]. Disponible en <https://mexico.pochteca.net/tipos-de-lubricantes-industriales/>

**4.2.1.2.2 Pastas:** La composición de las pastas equivale básicamente a la de las grasas. Sin embargo, la proporción de lubricantes sólidos es sensiblemente mayor. De esta forma se garantiza una mayor acción lubricante, de desmoldeo y de protección contra la corrosión, incluso en condiciones extremas de temperatura y presión y en ambientes agresivos<sup>2</sup>.

Resultan muy útiles cuando se quiere evitar el deslizamiento a sacudidas (stick-slip) a presiones superficiales elevadas a bajas velocidades.

**4.2.1.2.3 Grasas:** Debido a su forma de fabricación, posee las mismas propiedades lubricantes que el aceite. Sin embargo, su textura y adhesión permiten una mejor adherencia a las superficies. Las grasas se presentan en diversas consistencias, de más ligeras a más espesas<sup>3</sup>. Es muy importante conocer la máxima temperatura de empleo y el tiempo en el que se requiere que vaya a estar adherida a la superficie, son mayormente usados para la lubricación en rodamientos y cadenas.

**4.2.1.2.4 Revestimientos:** Este tipo de lubricantes es una mezcla de resinas y disolventes formados por microscópicos sólidos lubricantes dispersos en toda la composición química. Por lo general contienen un disolvente, un aglutinante y un lubricante sólido, son capaces de suavizar la aspereza de una superficie para evitar la fricción y funcionan bajo cargas extremas<sup>4</sup>

**4.2.1.2.5 Líquidos:** Este tipo de lubricante es el más utilizado, ya que cumplen mejor su labor, los aceites derivados del petróleo crudo o petróleo refinado son los más utilizados debido a su gran adaptabilidad como lubricante.

---

<sup>2</sup> OKS. Tribología tipos de lubricantes pastas. [En línea]. Disponible en <https://www.oks-germany.com/es/tribologia/tipos-de-lubricantes/pastas/>

<sup>3</sup> LUBOKS. Lubricantes y anticorrosivos. [En línea. Disponible en <https://www.luboks.com.ar/grasas.htm>

<sup>4</sup> COEXITO Lubricantes. Lubricantes Industriales. [En línea]. Disponible en <https://lubricantescoexito.com/tipos-de-lubricantes-industriales-como-diferenciarlos.html>

**4.2.1.3 Aditivos de Lubricantes.** La función principal de los aditivos es maximizar el rendimiento del lubricante base, potenciando las propiedades físicas y químicas y suprimiendo las que no son deseadas. En términos generales las principales funciones de los aditivos son proteger la maquinaria de combustiones o posibles fallas del lubricante. Evitar la oxidación del aceite para que no se produzcan daños en la maquinaria. Ralentizar el desgaste, el bloqueo de los filtros u otros efectos negativos y por último mejorar la fluidez del lubricante.

**4.2.1.4 Análisis de lubricantes.** Se podría decir que el análisis de lubricantes industriales se realiza para analizar los cambios en las propiedades físicas y químicas que se han presentado a lo largo de un tiempo determinado de uso. Con el tiempo estos lubricantes pierden sus propiedades y provocan un desgaste interno en las piezas.

El desgaste y la contaminación de los equipos que aparecen en los lubricantes pueden tener varios orígenes, los problemas más comunes son:

- Abrasivo
- Adhesivo
- Por cavitación
- Corrosivo
- Presencia de humedad
- Presencia de sustancias insolubles por el mal estado del lubricante

Cada una de estas incertidumbres lleva a que el lubricante trabaje en malas condiciones y que la vida útil se vea comprometida, reduciéndola significativamente.

El problema de origen *abrasivo* es el que más resalta, ya que son los que tienden a causar más daño al equipo. Generalmente son contaminantes duros y su tamaño puede estar en el rango de los claros dinámicos que hay entre los componentes de la maquinaria, por lo que pueden causar mucho desgaste<sup>5</sup>

El problema *por cavitación* consiste en que la película continua del lubricante se rompe debido a la formación de burbujas en su interior.

En el caso del *corrosivo* es otro de los cuales resaltan y es el principal mecanismo por el cual el lubricante se degrada en el tiempo bajo condiciones normales de operación. Típicamente es el resultado del deterioro de las propiedades físicas y químicas del aceite básico y de los aditivos<sup>6</sup>.

La falla por fatiga se debe a la sucesión de cargas repetidas en el equipo que pueden causar fallos superficiales y desprendimiento de fragmentos de metal. Éstas producen microgrietas en la superficie que se propagan y acaban desprendiendo trozos microscópicos de metal en el lubricante<sup>7</sup>

En la *presencia de humedad* se debe a un muy mal ambiente en el que la pieza se encuentra trabajando o una fuga interna del sistema de refrigeración.

---

<sup>5</sup> PRODIMS.A. Contaminantes de lubricantes. [En línea]. Disponible en <sup>5</sup> Prodimsa. Contaminantes de lubricantes. [En línea]. Disponible en <https://prodimsa.com/asistencia-tecnica/preguntas-frecuentes-faq/contaminantes-de-lubricantes/>

<sup>6</sup> NORIA. Identificando las etapas de la oxidación del aceite. [En línea]. Disponible en <https://noria.mx/lublearn/identificando-las-etapas-de-la-oxidacion-del-aceite/>

<sup>7</sup> ATTEN2. La influencia de la lubricación en los elementos de desgaste de maquinaria industrial. [En línea]. Disponible en <https://blog.atten2.com/elementos-de-desgaste-de-maquinaria-industrial>

## 4.2.2 Mantenimiento Predictivo

**4.2.2.1 Análisis de Lubricantes en el Mantenimiento Predictivo.** Conocer el estado de los aceites lubricantes entra en la variedad de opciones de las que se dispone para realizar las tareas de mantenimiento predictivo y es una de las más comunes. El análisis de estos aceites aporta gran información sobre el estado de los equipos y aporta aspectos clave como el nivel de degradación, el grado de desgaste de las piezas de maquinaria, la presencia de elementos contaminantes.

Para el *nivel de degradación* del lubricante es aquel en el que ya no está realizando la función para la que fue diseñado, haciendo que la fricción se incremente y que los equipos sean más propensos a presentar una falla por desgaste de los elementos<sup>8</sup>.

Por *desgaste*, el estudio del estado de los lubricantes detectara la existencia de elementos metálicos y no metálicos, en el lubricante. Siendo esta una clara señal de que el lubricante ha tenido cambios en su composición y que su funcionamiento podría no ser lo esperado<sup>9</sup>.

La *presencia de contaminantes* puede ser tanto solidos como líquidos, además de que pueden tener un origen interno o externo al almacenamiento de este, el origen interno se podría dar por desprendimiento de material del equipo como se mencionó anteriormente.

---

<sup>8</sup> DATISION. Mantenimiento predictivo y lubricantes de la maquinaria industrial. [En línea]. Disponible en <https://datision.com/blog/mantenimiento-predictivo-lubricantes/>

<sup>9</sup> Ibid.

Entre las fuentes contaminantes externas, podemos encontrarnos con polvo, humedad o el relleno con aceites inapropiados que reaccionen químicamente con los materiales de los equipos, generando productos sólidos que pueden hacer fallar la maquinaria<sup>10</sup>

Al tener un buen programa de análisis predictivo basado en el análisis de lubricantes lleva consigo una serie de ventajas:

- Se prolonga la vida útil de los lubricantes, evitando sustituirlos cuando aún pueden cumplir perfectamente con su función.
- Reducción de las paradas de producción por averías en la maquinaria.
- Evitas realizar tareas de mantenimiento que no aportan valor, ya que los equipos se encuentran en buen estado en ese momento. De esta manera, también se aprovecha la mano de obra en tareas realmente necesarias.
- Menor impacto medioambiental, ya que los aceites presentan compuestos altamente contaminantes, etc.

### **4.2.3 Laboratorios**

**4.2.3.1 Definición.** Un laboratorio es un lugar físico o virtual que se encuentra especialmente equipado con diversos instrumentos y elementos que le permitan al personal satisfacer las demandas de experimentos e investigaciones diversas, según el enfoque del laboratorio.

Estos espacios se caracterizan en que las condiciones ambientales estarán especialmente controladas y normalizadas con la estricta finalidad que ningún agente externo pueda provocar algún tipo de alteración o desequilibrio en la investigación o practica que se lleva a cabo. En la actualidad existe gran variedad de laboratorios que se encargan de investigar las distintas ramas de la ciencia, en

---

<sup>10</sup> Ibid.

la investigación se abarcaron principalmente algunos tipos de laboratorios, que fueron:

- Laboratorio de química
- Laboratorio de física
- Laboratorio de Investigación y Desarrollo (I+D)
- Laboratorio docente

En el *laboratorio de química* se trabaja con compuestos, mezclas o elementos que son de naturaleza química, en este tipo de laboratorio no se usan muestras de origen biológico.

Los *laboratorios de física* se enfocan generalmente en el mundo de la docencia, la investigación, son lugares en los que se demuestran principios físicos generalmente relacionados con la mecánica.

En los *laboratorios de investigación y desarrollo (I+D)* se engloban varias disciplinas de diferentes ramas del aprendizaje, son aquellos destinados a la investigación y al progreso, se realizan experimentos con distintas pruebas en diferentes ambientes, con el fin de encontrarle una aplicación práctica o la mejora de algún proceso o herramienta.

El laboratorio docente se caracteriza por el aprendizaje, tanto a nivel escolar como universitario. Son espacios que sin estar dotados de los mismos equipos que los profesionales, los laboratorios docentes recrean las características y permiten al estudiante familiarizarse con las normas de trabajo y la seguridad en cuanto al manejo de cada equipo.

**4.2.3.2 Tipos de pruebas.** Para cada una de las pruebas se tuvo en cuenta la orientación del Profesor Francisco Saldivia quien cuenta con vasta experiencia en este campo de trabajo, con lo cual se logró la identificación de las pruebas más solicitadas en el mercado y dejando el espacio para reforzar el desarrollo de investigación para estudiantes de pregrado, Especialización, Maestría y Doctorados que quieran profundizar o necesiten de alguna de las siguientes pruebas:

- Viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos (y cálculo de viscosidad dinámica)
- Numero de base de productos derivados del petróleo por titulación potenciométrica de ácido perclórico
- Agua en petróleo crudo de valoración coulometrica de Karl Fischer
- Determinación de metales de desgaste y contaminantes en aceites lubricantes usados o fluidos hidráulicos usados mediante espectrometría de emisión atómica con electrodo de disco giratorio
- Puntos de inflamación y fuego por Cleveland Open Cup Tester
- Medición de las propiedades de extrema presión de los lubricantes Grasa (Método de cuatro bolas)

Cada una de las pruebas estándar que se mencionaron está bajo la norma ASTM (American Society for Testing and Materials) que es una de las organizaciones más grandes en la actualidad, en la que se reúnen usuarios, consumidores y productores, para llegar a un acuerdo y crear cada una de ellas.

En la prueba estándar para *Viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos (y cálculo de viscosidad dinámica)* se busca medir el tiempo que tarda un volumen de líquido en fluir por efecto de la gravedad a través de un viscosímetro capilar de vidrio calibrado a una temperatura conocida y rigurosamente controlada, el resultado obtenido por medio de esta prueba depende del comportamiento que

tenga la muestra, para lograr un valor determinado aceptable se necesitan dos determinaciones de este tipo a partir de las cuales se calcula la viscosidad cinemática. Esta prueba va destinada principalmente en aquellos líquidos en los que el esfuerzo cortante y las tasas de corte son proporcionales (flujo newtoniano).

Según la norma ASTM D2896 la prueba *Numero de base de productos derivados del petróleo por titulación potenciométrica de ácido perclórico* busca determinar los constituyentes básicos en productos derivados del petróleo que se hace por medio de titulación con ácido perclórico en ácido acético glacial, La muestra se disuelve en una mezcla esencialmente anhidra de clorobenceno y ácido acético glacial y se valora con una solución de ácido perclórico en ácido acético glacial usando un valorímetro potenciométrico. Se utilizan un electrodo indicador de vidrio y un electrodo de referencia, este último conectado con la solución de muestra por medio de un puente salino. Las lecturas del medidor se trazan frente a los volúmenes respectivos de la solución de titulación y el punto final se toma en la inflexión de la curva resultante.

Según la norma ASTM D4928 la prueba *Agua en petróleo crudo de valoración coulometrica de Karl Fischer* cubre la determinación del agua en el rango de 0.02 a 5.00% en masa o volúmenes en petróleos crudos Mercaptano (RSH) y sulfuro (S-o H<sub>2</sub>S) ya que se sabe que el azufre interfiere con este método de prueba, pero a niveles de menos de 500 µg /g [ppm (m)], la interferencia de estos compuestos es insignificante.

Como primer paso se debe de homogeneizar la muestra de petróleo crudo, se inyecta un espécimen de prueba de esa muestra en la celda de titulación de un aparato Karl Fischer en el que se genera coulométricamente yodo para la reacción de Karl Fischer en el ánodo. Cuando se ha valorado toda el agua, un detector de punto final electrométrico detecta el exceso de yodo y finaliza la valoración. Según

la estequiometría de la reacción, un mol de yodo reacciona con un mol de agua, por lo que se puede determinar la cantidad de agua.

La exactitud de la prueba va de la mano con la homogenización de la prueba, este método de prueba depende críticamente de la efectividad del paso de la homogenización. Además, si el método de prueba se realiza en base al volumen, la precisión del método de prueba depende de manera crítica de la exactitud y repetibilidad del volumen inyectado.

Para la prueba se proporcionan dos procedimientos para la determinación de agua en petróleos crudos. En un procedimiento, se inyecta una muestra de prueba pesada en la celda de titulación y se determina el % en masa de agua. El otro procedimiento prevé la determinación directa del % en volumen de agua en el petróleo crudo midiendo el volumen de petróleo crudo inyectado en la celda de titulación.

La prueba *Determinación de metales de desgaste y contaminantes en aceites lubricantes usados o fluidos hidráulicos usados mediante espectrometría de emisión atómica con electrodo de disco giratorio* proporciona una indicación rápida del desgaste anormal y la presencia de contaminación en lubricantes y fluidos hidráulicos nuevos o usados. Según la norma ASTM D6595 este método de prueba utiliza metales solubles en aceite para la calibración y no pretende relacionar cuantitativamente los valores determinados como partículas insolubles con los metales disueltos. Los resultados analíticos dependen del tamaño de las partículas y se pueden obtener resultados bajos para aquellos elementos presentes en las muestras de aceite usado como partículas grandes, el método de prueba es capaz de detectar y cuantificar elementos resultantes del desgaste y la contaminación que van desde materiales disueltos hasta partículas de aproximadamente 10  $\mu\text{m}$  de tamaño las unidades preferidas son mg/kg (ppm por masa).

Los metales de desgaste y los contaminantes en una muestra de prueba de aceite usado se evaporan y excitan mediante una descarga de arco controlada utilizando la técnica de disco giratorio. Las energías radiantes de las líneas analíticas seleccionadas y una o más referencias se recopilan y almacenan mediante tubos fotomultiplicadores, dispositivos de carga acoplada u otros detectores adecuados. Se hace una comparación de las intensidades emitidas de los elementos en el espécimen de prueba de aceite usado contra aquellas medidas con estándares de calibración. Las concentraciones de los elementos presentes en la muestra de prueba de aceite se calculan y muestran. También pueden ingresarse en una base de datos para su procesamiento.

La prueba estándar *Puntos de inflamación y fuego por Cleveland Open Cup Tester* puede aplicarse a todos los productos derivados del petróleo con puntos de inflamación por encima de 79°C (175°F) y por debajo de 400°C(752°F), con la excepción de los aceites combustibles. Según la norma ASTM D92 aproximadamente 70 ml de muestra de prueba se llenan en una copa de prueba. La temperatura de la muestra de ensayo aumenta rápidamente al principio y luego a una velocidad constante más lenta a medida que se acerca al punto de inflamación. A intervalos específicos, se pasa una llama de prueba a través de la copa. El punto de inflamación es la temperatura más baja del líquido a la cual la aplicación de la llama de prueba hace que se enciendan los vapores del espécimen de prueba de la muestra. Para determinar el punto de ignición, la prueba continúa hasta que la aplicación de la llama de prueba hace que la muestra de prueba se encienda y mantenga la combustión durante un mínimo de 5 s.

En la prueba *Medición de las propiedades de extrema presión de los lubricantes Grasa (Método de cuatro bolas)* es necesario el uso de un probador de lubricante de presión extrema de cuatro bolas(imagen#), con el cual se realiza el procedimiento de análisis bajo la norma ASTM D2596-15 el cual se opera con una

bola de acero bajo carga que gira contra tres bolas de acero que se mantienen estacionarias en forma de cuna. La velocidad de rotación es  $1770 \text{ rev/min} \pm 60 \text{ rev/min}$ . Las grasas lubricantes se llevan a  $27 \text{ }^\circ\text{C} \pm 8 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $80 \text{ }^\circ\text{F} \pm 15 \text{ }^\circ\text{F}$ ) y luego se someten a una serie de pruebas de 10 s de duración con cargas crecientes hasta que se produce la soldadura. Este método de prueba, utilizado para propósitos de especificación, diferencia entre grasas lubricantes que tienen un nivel bajo, medio y alto de propiedades de extrema presión.

## **5. DESARROLLO DE LA PROPUESTA EN LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER SEDE GUATIGUARA**

Con el fin de incrementar la eficiencia del laboratorio y poder lograr la implementación de este en tiempos no tan largos, se plantearon varios equipos con especificaciones y proveedores diferentes. Estos equipos serán utilizados con el fin de desarrollar prácticas de laboratorio como parte del proceso de formación de los estudiantes de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander también será utilizado para el desarrollo de investigación de Pregrado, Especialización, Maestría y Doctorado.

Para el desarrollo de este proyecto se tuvieron varios aspectos en cuenta con respecto a la universidad, desde la importancia de este tipo de espacios para los estudiantes, hasta los beneficios económicos que podrían llegar a obtener.

- Para la documentación de los posibles equipos se determinó con el profesor Francisco José Saldivia Saldivia que elementos se implementarían, documentando las ventajas y especificaciones de cada uno, así como los requerimientos y posibles distribuidores.
- Se realizó un estudio analizando las necesidades que tienen algunas empresas con el análisis de lubricantes dentro de cada uno de los procesos y mantenimientos que se llevan a cabo, logrando obtener datos acerca de las pruebas que más se requerirían en caso de llevar a cabo el laboratorio
- Se planteo la distribución de los equipos dentro del laboratorio, analizando riesgos y posibles anomalías que se podrían presentar
- Para el costo del proyecto se tomaron los valores suministrados por cada uno de los distribuidores y gastos que se presentarían para la implementación del laboratorio.

## **5.1 ELECCIÓN DE EQUIPOS PARA LAS PRUEBAS**

Para el Laboratorio de caracterización y análisis de aceite lubricante, se requieren de las seis pruebas más solicitadas para análisis y verificación del correcto funcionamiento del lubricante. Cada una de ellas requiere de equipos e instrumentos que el procedimiento demanda, estos estarán ubicado en un sitio en específico con lo que se evita trasladar o mover los equipos de su zona asignada y así evitar posibles daños o accidentes, existirán elementos los cuales serían requeridos en varios equipos o procedimientos, estos equipos se caracterizaran por ser portátiles, su ubicación dependerá de la necesidad de su uso.

### **5.1.1 Equipos Fijos**

**5.1.1.1 Prueba Punto de Inflamación.** Existen en la actualidad varios procedimientos para la evaluación del punto de inflamación de los fluidos (Temperatura mínima a la que un líquido combustible desprende suficientes vapores como para que se inflamen en presencia de una fuente de ignición), el procedimiento más usado es la prueba de copa abierta la cual consta de la copa de prueba, la placa calefactora, el aplicador de llama de prueba, el calentador y los soportes adscritos a la prueba ASTM D92.36516, en esta investigación se optó por la elección de aparato de copa abierta de Cleveland (automatizado), el cual hace que a la hora de la recolección de datos sea más precisos y correctos dando mayor eficiencia a la prueba. Este procedimiento es fundamental realizarse a lubricantes en los que hubiera presencia de chispa o piezas en las que la fricción provoque un aumento de la temperatura considerable, provocando pérdida de propiedades o en los casos más extremos alcanzando el punto de inflamación del lubricante.

**5.1.1.1.1 Prueba de Copa Abierta:** Analizador totalmente automático para determinación del punto de inflamación Cleveland (COC). Este equipo está construido según normas: ASTM D92, ISO 2592, IP 36, JIS K2265-4, cuenta con pantalla LCD, LED, el punto de combustión se determina automáticamente cuando la combustión ha sido detectada durante 5 segundos, en caso de que se detecte un fuego sostenido el equipo lo extingue mediante tapa metálica que cubre la copa de muestra de forma automática.

**Figura 1. Equipo automático para punto de inflamación en copa abierta Cleveland, modelo ACO-8**



Fuente: Equipo automático para punto de inflamación en copa abierta Cleveland, modelo ACO-8. (s. f.). Instru.es. Recuperado 9 de octubre de 2022, de <https://www.instru.es/equipo-automatico-para-punto-de-inflamacion-en-copa-abierta-cleveland-modelo-aco-8>

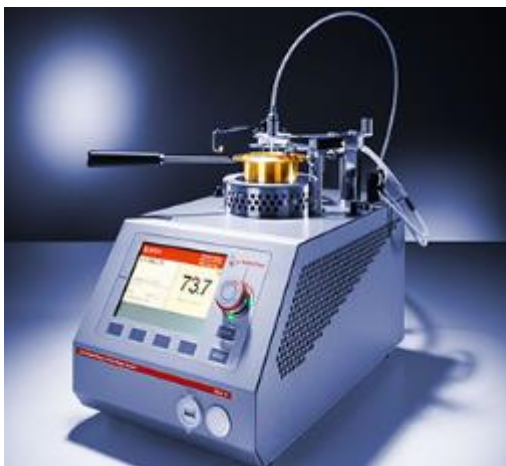
**Tabla 1. Especificaciones equipo automático para punto de inflamación**

Escribe	Todo en uno, controlado por	Parada de seguridad	Se apaga automáticamente y el zumbador y la pantalla informan del problema, en caso de que: (a) se alcance EFP+30 °C o 400 °C (b) se encuentre defectuoso el sensor de temperatura (c) se encuentre defectuoso el detector de flash (d) se quema el termofusible (también se activa la tapa de contención de incendios) (e) se encuentra que la batería incorporada se agotó (f) el brazo no está colocado en su lugar (g) la computadora de control
Estándares de prueba	ISO 2592, ASTM D92, IP36		
Rango de medición	Ambiente a 400°C		
Modos de medida	ISO CRM, ISO Normal, ISO SPE, ISO Flash & Fire, ISO Skim*, ASTM Normal, ASTM SPE, ASTM Flash & Fire, ASTM Skim*		
Calentador	Calentador de bobina de nicromo: 800W@100V o 800W@220V		
Dispositivo de enfriamiento	Refrigeración por aire forzado mediante ventilador sirocco		
Monitor	LCD en color de 5,7 pulgadas (117 x 88 mm) con luz trasera LED		
Mecanismo de desnatador (solo versión asfalto)	Muestra la temperatura de inicio del desnatado y el intervalo son programables. Cuando no está en uso, la paleta se puede quitar		
Sensor de	PT-100 en vaina de acero inoxidable		
Detector de destellos	Anillos de ionización doble		
Fuente de ignición	Encendido a gas con encendido	Fuente de ignición	Encendido a gas con encendido automático (Max. presión:10kPa)
Corrección barométrica	Corrección automática por barométrica incorporada sensor de presión	Fuente de	100/120VAC or 220/240 VAC, 50/60Hz
Puerto de e/s	RS-232C = 1 canal (para PC o impresora opcional) USB=1 canal (para teclado USB o USB Flash Memoria)	El consumo de	1000W MAX
		Electricidad de consumo	160 Wh para 1 prueba (unos 20 min), 60,48 gCO <sub>2</sub> (@ 0,378 kgCO <sub>2</sub> /1kWh)
		Rango de temperatura ambiente	10°C A 35°C
		Dimensiones y peso	230mm (ANCHO) × 470mm (LARGO) × 390mm (ALTO) 16kg

Fuente: Equipo automático para punto de inflamación en copa abierta Cleveland, modelo ACO-8. (s. f.). Instru.es. Recuperado 9 de octubre de 2022, de <https://www.instru.es/equipo-automatico-para-punto-de-inflamacion-en-copa-abierta-cleveland-modelo-aco-8>

**5.1.1.1.2 CLA 5:** Este equipo lo ofrece la empresa Anton Para y dentro de los beneficios que tiene este equipo destacan: Memoria para 1000 pruebas, 20 operadores, 100 nombres de muestras, 21 métodos de prueba, análisis estadístico (mínimo, máximo, media, repetibilidad), mide los puntos de inflamación de muestras de silicona sin ningún tipo de problema, ilumina automáticamente la prueba de fuego, la aviva gracias a un encendedor electrónico y suprime la fuente de gas al final de la prueba, este equipo está bajo los estándares de varias normas como: ISO 2592, ABNT NBR 11341 y ASTM D92.

**Figura 2. Medidor del punto de inflamación e incendio Cleveland CLA 5**



Fuente: Medidor del punto de inflamación e incendio Cleveland: CLA 5: Anton-paar.com. (s. f.). Anton Paar. Recuperado 9 de octubre de 2022, de <https://www.anton-paar.com/co-es/productos/detalles/controlador-del-punto-de-inflamacion-e-incendio-cleveland-cla-5/>

**Tabla 2 Especificaciones técnicas CLA 5**

Especificaciones técnicas	
Rango de aplicación	hasta 400°C (°C/°F seleccionable)
Ignición	Gas
Calentamiento	De acuerdo a los métodos, modo programable y de precalentamiento
Detección de punto de inflamación e incendio	Detector de ionización
Temperatura de la muestra	Sonda Pt100
Corrección de la presión barométrica	Corrección automática
Seguridad	Protección para evitar sobrecalentamientos, apagado automático
Interfaces	3x USB, 1x RS232, LAN
Suministro de gas	50 mbar de propano o butano
Suministro eléctrico	115 V/230 V, 50 Hz/60 Hz, 600 W
Dimensiones	230 mm x 390 mm x 460 mm (ancho x profundidad x altura)
Peso	12 kg
Resolución	0,1 °C

Fuente Medidor del punto de inflamación e incendio Cleveland: CLA 5: Anton-paar.com. (s. f.). Anton Paar. Recuperado 9 de octubre de 2022, de <https://www.anton-paar.com/co-es/productos/detalles/controlador-del-punto-de-inflamacion-e-incendio-cleveland-cla-5/>

**5.1.1.1.3 Campana Extractora de Gases.** Por la ubicación en la quedaría el laboratorio se tiene que buscar soluciones a la ventilación dentro del laboratorio para la seguridad y confort del operario y los estudiantes durante la realización de la prueba de punto de inflamación, debido a los costos y las modificaciones que se le tendrían que realizar al salón se toma la decisión de utilizar una campana sin ducto (HVAC) con filtro, el costo de operación e instalación es sustancialmente inferior al de una de extracción convencional, para el monitoreo de los gases que se están generando durante la prueba el controlador automático AirSafe™ monitorea constantemente el flujo del aire y la condición del filtro para garantizar la seguridad del operador. Cada campana posee un detector del estado del gas que monitorea la saturación del filtro de carbón

**Figura 3. Campana extractora**



Fuente. Cabina de Gases, Campana Sin Ductos, Campana de Humos, Estándares de la Campana de Laboratorio Extractora de Gases - AirClean Systems. (s. f.). Aircleansystems.com. Recuperado 9 de octubre de 2022, de <https://es.aircleansystems.com/sin-ductos.php>

**5.1.1.2 Espectrometría de emisión atómica con electrodo de disco giratorio (RDE).** En esta prueba lo que se busca es que los metales de desgaste y los contaminantes en una muestra de prueba de aceite usado se evaporen y exciten mediante una descarga de arco controlada utilizando la técnica de disco giratorio. Esta prueba es muy importante casi que en la totalidad de los lubricantes que se ofrecen para la industria, en gran medida aquellos que se trabajen bajo condiciones de trabajo pesadas o jornadas largas en las que el equipo no tiene paradas muy habitualmente, como lo son maquinaria amarilla, equipos de planta automatizados, etc. Para el laboratorio se eligieron:

**5.1.1.2.1 Electrodo de Disco Rotatorio (MSR Rotator):** El MSR Rotator de Pine Research es el rotador de electrodos más popular del mundo, beneficiando a los estudiantes al poder trabajar con el equipo para cuando salgan al campo laboral. Este diseño es fundamental para el trabajo del electrodo de disco giratorio (RDE). Siendo un diseño flexible logrando que el equipo pueda realizar la prueba y logrando también con electrodos de disco de anillo giratorio (RRDE) y electrodos de cilindro giratorio (RCE).

**Figura 4. Rotador de electrodo MSR**



Fuente: Modulated speed rotator (MSR). (2016, febrero 12). Pine Research Instrumentation Store. <https://pineresearch.com/shop/rotators/standard/msr/>

**Tabla 3. Especificaciones MSR Rotator**

Especificaciones técnicas	
Precisión de tasa	100 a 200 RPM: Precisión dentro de $\pm 2$ conteos de la lectura de la pantalla
Control de tarifas (externo)	Control de velocidad opcional a través de la señal de entrada en el panel frontal de la unidad de
Tasa de salida	Permite el monitoreo externo opcional de la velocidad de rotación (conector banana, panel frontal de la unidad de control)
Par continuo máximo	28,3 mN·m
Fuerza de motor	15W
Conexiones de electrodos	Electrodo de disco: conector tipo banana rojo en la unidad del motor
Dimensiones	Unidad de control: 29 × 26 × 15 cm (11,4 × 10,1 × 5,75 pulg.) Carcasa del rotor: 48 × 40 × 54 cm (18,8 × 15,5 × 21,0 pulg.)
Información de envío	Peso de envío: 27 kg (60 lb)
Disco giratorio (RDE)	E2, E3, E4TQ, E5, E5TQ
Disco anular giratorio (RRDE)	E6, E7, E8
Cilindro Rotatorio (RCE)	ACQC, E9

Fuente: Modulated speed rotator (MSR). (2016, febrero 12). Pine Research Instrumentation Store. <https://pineresearch.com/shop/rotators/standard/msr/>

**5.1.1.2.2 Serie SpectrOil 100 - (RDE-OES) Analizador elemental.** Este equipo es usado ampliamente en laboratorios comerciales de aceite, en el sitio o en remolques, como un medio comprobado para determinar con precisión la composición elemental en aceite lubricante, refrigerante, combustibles livianos o pesados, grasa y agua de proceso. Cumple con las normas ASTM-D6595 (aceite) y ASTM-D6728 (combustible) y también cuenta con un MinLab para poder realizar salidas de campo en el que el estudiante pueda realizar trabajos en tiempo real.

**Figura 5. SpectrOil 100 Series**



Fuente: SpectrOil 100 Series - RDE-OES Elemental Analyzer. (s. f.). Spectrosci.com. Recuperado 9 de octubre de 2022, de <https://www.spectrosci.com/product/spectrooil-100-series---rde-oes-elemental-analyzer>

**Tabla 4 Especificaciones SpectroOil 100**

Información del producto	
SpectroOil 100	
Parte #	Especetro-[Modelo]-[Hz]-[Voltios]
Aplicaciones	Lubricantes minerales y sintéticos, combustible destilado, pesado fueloil (HFO), crudo, refrigerantes de glicol y turbinas
Producción	agua de lavado
Metodología	Concentración mg/kg (ppm) ASTM D6595; D6728
Rango analítico estándar	Hasta 31 elementos de Li a Pb
Calibración	Típicamente 0-1000 ppm (varía según la Fuente de excitación)
Sistema óptico	Óptica policromática Paschen-Runge (Rowland Circle Alignment)
Rango espectral	200 nm to 810 nm
control de temperatura	Estabilizado térmicamente; 40°C ± 1°C
Detectores Diseño	Patentado CCD para el rango de frecuencia de interés
<b>ESPECIFICACIONES DE OPERACIÓN</b>	
Volumen de muestra	2 ml de líquido
Disolventes/Reactivos	Ninguno
Ambiente operativo de temperatura	0° a 40°C (32°F a 104°F)
Humedad relativa	0 a 90%, sin condensación
<b>REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA</b>	
Entrada de voltaje	CA 120/240 V, 50/60 Hz
Consumo de energía	500 vatios en la prueba
Fusión	30 amperios
<b>ESPECIFICACIONES MECÁNICAS</b>	
Dimensiones	70,6 cm (alto) x 38,4 cm (ancho) x 66 cm (largo)
Peso	70 kg (154 libras)

Fuente: SpectroOil 100 Series - RDE-OES Elemental Analyzer. (s. f.). Spectrosci.com. Recuperado 9 de octubre de 2022, de <https://www.spectrosci.com/product/spectrooil-100-series---rde-oes-elemental-analyzer>

**5.1.1.3 Viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos.** Para la viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos se tendrá de referencia la norma ASTM D445-18, ya que en la industria es la más utilizada, esta norma permite determinar con precisión el valor de viscosidad de los diferentes lubricantes y así poder estimar la vida útil del mismo, esta prueba mide el tiempo que tarda un volumen fijo de líquido en fluir por gravedad a través del capilar de un viscosímetro calibrado a una temperatura conocida y estrechamente controlada. Dando lugar a la viscosidad cinemática que es el producto del tiempo de flujo medido y la constante de calibración del viscosímetro. Esta prueba es una de las más importante, ya que al no tener la viscosidad requerida en el lubricante puede llevar a que el equipo trabaje en muy malas condiciones, ya sea a que la viscosidad sea demasiado baja provocando desgaste por falta de colchón hidrodinámico, o en caso contrario provocaría que el consumo de energía sea mayor, además de provocar el desgaste de las piezas ya que no podría fluir con suficiente soltura por las cavidades.

**5.1.1.3.1 Viscosímetro Capilar de Vidrio.** Cada viscosímetro está calibrado de acuerdo con la norma ASTM D446, mide la viscosidad de líquidos newtonianos transparentes en la industria química y petrolera, para este tubo capilar se requiere un volumen de muestra de 7 ml.

**Figura 6. Viscosímetro semicro de Cannon Manning**



Fuente: Cannon®-Fenske Calibrated Glass Capillary Routine Viscometers. (s. f.). Coleparmer.com. Recuperado 9 de octubre de 2022, de <https://www.coleparmer.com/p/cannon-fenske-calibrated-glass-capillary-routine-viscometers/7145?searchterm=Cannon%C2%AEFenske%20Calibrated%20Glass%20Capillary%20Routine%20Viscometers>

**5.1.1.3.2 Baño de Calibración Estándar.** Este equipo de prueba es necesario para la medición de viscosidad por medio de viscosímetro, permite controlar la temperatura durante la prueba para evitar oscilación de esta. Permiten hasta 6 capilares de viscosidad al mismo tiempo, cuentan con sistema de seguridad por sobre temperatura y accesorios de enfriamiento rápido.

**Figura 7. Baño de viscosidad estándar KOEHLER**



Fuente: DISEÑO PARA PRUEBAS DE HIDROCARBUROS. (s.f.). Grupo SYZ. Recuperado 10 de octubre de 2022, de <https://www.grupo-syz.com/servicio/laboratorios-de-analisis/banos-de-viscosidad-cinematica/>

**5.1.1.3.3 Viscosímetro Saybolt UTAS-0300.** El viscosímetro puede estar usado entre temperaturas de 21 a 99 °C (70 a 210 °F). El viscosímetro incluye un baño para agua-aceite, agitador, bucle para enfriar, calentador eléctrico con termostato digital, orificio furol, orificio universal, soporte para el termómetro y frascos de vidrio para viscosidad Saybolt, 2 de 60 ml.

**Figura 8. UTAS-0300 Viscosímetro Saybolt**



Fuente: Utest Material Testing Equipment. (s. f.). Viscosímetro Digital Saybolt de Doble Tubo. Utest Material Testing Equipment. Recuperado 9 de octubre de 2022, de <https://www.utest.com.tr/es/26076/Viscos-metro-Digital-Saybolt-de-Doble-Tubo>.

**Tabla 5. Especificaciones técnicas**

Información del producto Viscosímetro Saybolt	
Parte #	Saybolt-[Modelo]-[Hz]-[Voltios]
Aplicaciones	Se utiliza para probar la viscosidad de una determinada temperatura constante
Fuente de alimentación de CA de trabajo	(220±10%)V, 50Hz
Modo de trabajo	Prueba de doble canal, prueba de paralelo
La recepción de tamaño de matriz	(60±0,05)ml
Potencia de calentamiento	Baño de 1000W
Temperatura de trabajo de baño	Rt~240.0°C
La temperatura del baño	±0.1°C precisión
El rango de distribución	0.0s~999.9s
Calendario Precisión	±0,1
La temperatura ambiente	≤35°C
La humedad relativa	≤85%
ESPECIFICACIONES MECÁNICAS	
Dimensiones	450x300x550 mm
Peso (aprox.)	10 kg
Potencia	750 W

Fuente: Utest Material Testing Equipment. (s. f.). Viscosímetro Digital Saybolt de Doble Tubo. Utest Material Testing Equipment. Recuperado 9 de octubre de 2022, de <https://www.utest.com.tr/es/26076/Viscos-metro-Digital-Saybolt-de-Doble-Tubo>.

**5.1.1.4 Método de Prueba Estándar para Agua en Petróleo Crudo por Valoración Coulométrica de Karl Fischer.** Al momento de realizar esta investigación se encontró que el método de prueba estándar para agua en petróleo crudo por valoración coulométrica Karl Fischer será considerado como primordial para la propuesta de viabilidad de infraestructura del laboratorio de caracterización y análisis de aceite lubricantes y estará basado en la norma ASTM D4928-12323.

Este método de prueba cubre la determinación de agua en el rango de 0.02 a 5.00% en masa o volumen en petróleos crudos. Mercaptano (RSH) y sulfuro (S-o H<sub>2</sub>S) ya que se sabe que el azufre interfiere con este método de prueba, pero a niveles de menos de 500 µg/g [ppm(m)], la interferencia de estos compuestos es insignificante. Realizando una breve investigación se pudo observar que los siguientes equipos fueron los más adecuados para el acondicionamiento del laboratorio, ya que se rigen a la norma estipulada aquí anteriormente.

**5.1.1.4.1 Valorador Coulométrico C20S Karl Fischer:** Este equipo combina la rapidez y la determinación en agua con un funcionamiento muy sencillo, selección las muestras de cualquier sector con contenido en agua de entre 1 ppm y un 5% se analizan en una sola medición o como una serie de muestras, genera una conformidad garantizada en entornos regulados, el software que contiene este equipo ofrece una conformidad plena con las normas 21 CFR parte 11 y UC anexo 11, posee un diseño robusto y asegura mediciones exactas e irrepetibles.

**Figura 9. Valorador coulométrico C20S Karl Fischer**



Fuente: Valorador coulométrico de Karl-Fischer C20S Compact. (2018, abril 30). Labzul. <https://www.labzul.com/tituladores/tituladores-de-karl-fischer/valorador-coulometrico-de-karl-fischer-c20s-compact/>

**Tabla 6. Especificaciones técnicas Valorador coulométrico C20S Karl Fischer**

Especificaciones técnicas		
Entrada de valor polarizado	Intervalo de medición	De -2000 a +2000 mV
	Resolución/Límites de error	0,1 mV/2 mV
	Intervalo actual de polarización	De 0 a 24 $\mu$ A
	Resolución actual de polarización/Límites de error	0,1 $\mu$ A/1 $\mu$ A
Medioambiente	Temperatura ambiente	De +5 a +40 $^{\circ}$ C
	Humedad atmosférica	Máx. 80 % a 31 $^{\circ}$ C
Dimensiones del valorador	Anchura x profundidad x altura/peso	210 x 340 x 312 mm / 3,3 kg
	Vaso de precipitado de vidrio	200 mL
Control y pantalla	Pantalla táctil	TFT a color de 5,7" VGA, 640 x 480 píxeles
Aplicación (depende del entorno y de la manipulación)	Deriva en la medición	En línea, < 2 $\mu$ g / min
	Intervalo de medición	De 10 $\mu$ g a 200 mg
	Resolución	0,1 $\mu$ g
	Repetibilidad	0,3 % a > 1 mg H <sub>2</sub> O

Fuente: Valorador coulométrico de Karl-Fischer C20S Compact. (2018, abril 30). Labzul. <https://www.labzul.com/tituladores/tituladores-de-karl-fischer/valorador-coulometrico-de-karl-fischer-c20s-compact/>

**5.1.1.4.2 Titulador Científico Culombímetro Karl Fischer HI 934.** Este equipo ofrece un sistema portátil estableciendo altos estándares en versatilidad y facilidad de operación para determinar el contenido de agua en líquidos, gases y polvos. Permite la determinación de humedad en un rango de 1 ppm a 5%. Presenta un diseño renovado que permite una personalización completa y un manejo versátil de la información gracias a su software dedicado y conexión USB, el titulador permite almacenar hasta 100 métodos de usuario o estandarización de titulante, en los que se encuentran métodos estándar de la ISO, ASTM, AOAC y EPA.

**Figura 10. Titulador científico coulombimétrico Karl Fischer HI 934**



Fuente: Titulador coulométrico Karl Fischer. (s. f.). Hannacolombia.com. Recuperado 9 de octubre de 2022, de <https://www.hannacolombia.com/productos/producto/hi-934-titulador-coulometrico-karl-fischer>.

**Tabla 7. Especificaciones técnicas**

Medición	Rango	1 ppm a 5%
	Resolución	1 ppm (0.0001%)
	Unidades de resultado	%, ppm, mg/g, µg/g, mg, µg, mg/mL, µg/mL, ppt, mgBr/100g, gBr/100g, mgBr, gBr
Determinación	Tipo de muestra	Líquido o sólido
	Acondicionamiento pretitulación	Automático
	Corrección de desviación de fondo	Automático / seleccionable por el usuario
	Criterio de punto final	Persistencia mV ajustado, paro de la desviación relativa o paro absoluto de la desviación
	Dosificación	Dinámica con predosificación opcional
	Estadísticas de resultados	Media, desviación estándar
Especificaciones adicionales	Pantalla	5.7" graphical color display with backlight
	Dispositivos periféricos	PC (USB Standard B); Flash Drive (USB Standard A); Analytical Balance (DB-9 Socket); Printer (DB-25 Socket); Keyboard (6-pin Mini DIN)
	Idiomas	Inglés, portugués, <u>Español</u> , Frances
	Fuente de poder	100-240 Vac, 50/60 Hz / 0.5 Amps
	Material de la carcasa	ABS, PC y Acero inoxidable
	Teclado	Polycarbonato
	Dimensiones / Peso	315 x 205 x 400 mm (12.4 x 8.1 x 15.8 ") / aprox. 4.3 kg (9.5 lbs.) con agitador y sensores

Fuente: Titulador coulométrico Karl Fischer. (s. f.). Hannacolombia.com. Recuperado 9 de octubre de 2022, de <https://www.hannacolombia.com/productos/producto/hi-934-titulador-coulometrico-karl-fischer>

**5.1.1.5 Prueba de Número de Básicos Totales TBN.** Esta prueba será considerada como primordial, indica la medida de la cantidad de sustancia básica en el aceite y para esto es necesario la aplicación de varios reactivos tales como; el uso de productos químicos de grado reactivos, agua reactiva que cumpla con los requisitos del tipo I, II o III de la especificación D1193, ácido acético, anhídrido acético, cloro benceno, ácido perclórico, ftalato de hidrógeno y potasio, electrolito de perclorato de sodio, solvente de titulación, carbonato de sodio anhidro ( $Na_2CO_3$ ) y por ultimo una solución de acetato de sodio.

Para este tipo de pruebas es necesario el uso de aparatos especiales tales como; Valorímetros potenciómetros, electrodos de vidrio, electrodos de referencia de plata o cloruro de plata con un puente no acuoso, agitador, bureta, vaso de titulación y el soporte de titulación.

Realizando una breve investigación se pudo observar que los siguientes equipos fueron los más adecuados para el acondicionamiento del laboratorio ya que se rigen a la norma estipulada aquí anteriormente.

#### **5.1.1.5.1 Comprobador de Aceite Lubricante Automático TBN ASTM D2896.**

Este equipo es fabricado y diseñado de acuerdo con las normas ASTM D664, ASTM D2896 y consta de un valorador potenciométrico automático que es adecuado para medir los componentes alcalinos de los productos derivados de petróleo y aditivos.

Este equipo adopta el principio de neutralización acido-base para determinar y calcular el valor base, está equipado con 5 electrodos de medición y 3 buretas diferentes para cumplir con la determinación de componentes alcalinos, posee un alto rango de medición y precisión.

**Figura 11 Comprobador de aceite lubricante automático TBN ASTM D2896**



Fuente: Comprobador de aceite lubricante automático TBN ASTM D2896. (s. f.). Made-in-china.com. Recuperado 9 de octubre de 2022, de [https://es.made-in-china.com/co\\_bcsmachinery/product\\_ASTM-D2896-Automatic-Lube-Oil-Tan-Tbn-Tester\\_uoyiineysy.html](https://es.made-in-china.com/co_bcsmachinery/product_ASTM-D2896-Automatic-Lube-Oil-Tan-Tbn-Tester_uoyiineysy.html)

**Tabla 8. Parámetros técnicos TBN ASTM D2896**

Rango de medición	PH:0~14,00pH; mV:0~±1999mV
Precisión de medición	PH: ±0,01; mV:0,1%F.S.
Precisión de control de posición de punto	±0,03pH o ±3mV
Impedancia de entrada	≥1×10 <sup>12</sup> Ω
Repetibilidad del análisis de capacidad	≤0,3% F.S;
Temperatura interior	0-35°C;
Humedad relativa	≤85%.
Dimensiones del host	280×200×130MM(L×AN×AL);
peso neto	Alrededor de 3,5kg

Fuente: Comprobador de aceite lubricante automático TBN ASTM D2896. (s. f.). Made-in-china.com. Recuperado 9 de octubre de 2022, de [https://es.made-in-china.com/co\\_bcsmachinery/product\\_ASTM-D2896-Automatic-Lube-Oil-Tan-Tbn-Tester\\_uoyiineysy.html](https://es.made-in-china.com/co_bcsmachinery/product_ASTM-D2896-Automatic-Lube-Oil-Tan-Tbn-Tester_uoyiineysy.html)

**5.1.1.6 Prueba Método de Cuatro Bolas.** Para la realización de esta prueba bajo la norma ASTM D2596-15 es de vital importancia el uso del probador EP de cuatro bolas y se hace notar que las grasas lubricantes que tiene como componente fluido una silicona, silicona halogenada o una mezcla de compuestos por fluido de silicona y aceite de petróleo no son aplicables a este método de prueba.

**5.1.1.6.1 Máquina de Prueba de Presión Extrema de Cuatro Bolas:** Es un instrumento de pie diseñado para determinar las propiedades de fricción de aceites y grasas de presión extrema. Se ha aplicado en laboratorios de investigación tribológica y en el control de calidad de rutina de productos de lubricación terminados. La máquina de prueba está diseñada y estrictamente de acuerdo con los estándares de ASTM.

**Figura 12. Probador automático de cuatro bolas para la prevención del desgaste (WP), presión extrema (EP) y prueba de comportamiento de fricción**



Fuente: Probador Automático DE 4 Bolas Para Prevención DE Desgaste (wp), Presión Extrema (ep) Y Prueba DE Comportamiento Fricción - Buy Four Ball Tester,4 Ball Tester, Four Ball Wear Tester Product on Alibaba.com. (s. f.). Alibaba.com. Recuperado 9 de octubre de 2022, de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Automatic-4-Four-Ball-Tester-for-1600061745834.htm>

**5.1.1.6.2 Probador de cuatro bolas (Koehler Instrument Company, Inc.):** El funcionamiento de este equipo cumple las especificaciones de las normas ASTM D2266, D2596, D2783, D4172, D5183 y IP 239, la fabricación y distribución del equipo la realiza Grupocomsurlab ubicados en México, facilitando la movilidad del equipo y la disminución de los costos de envío y mantenimiento.

**Figura 13. Probador de cuatro bolas**



Fuente : PROBADOR DE CUATRO BOLAS. (s. f.). Grupo Comsurlab. Recuperado 9 de octubre de 2022, de <http://www.grupocomsurlab.com/four-ball-tester/>

**Tabla 9. Especificaciones técnicas Probador de cuatro bolas(Koehler)**

Especificaciones técnicas	
Marca comercial:	Koehler Instrument Company, Inc.
Cumple con las especificaciones de	ASTM D2266, D2596, D2783, D4172, D5183*, IP 239
Motor	1.5 kW
Velocidades de prueba	1200, 1440, 1760 rpm
Carga axial máxima	10000 N a 3000 rpm o 12000 N a 1800 rpm
Duración de la prueba (mín./máx.)	1/9999 min
Diámetro de la bola de prueba	12.7 mm

Fuente: PROBADOR DE CUATRO BOLAS. (s. f.). Grupo Comsurlab. Recuperado 9 de octubre de 2022, de <http://www.grupocomsurlab.com/four-ball-tester/>

## 5.2 EQUIPOS MÓVILES

**Tabla 10. Equipos móviles**

Aparatos	Prueba	Cantidad	Especificaciones
Tubos capilares	Viscosidad	3	200, 300, 450(ml)
Temporizador	Método de cuatro bolas, viscosidad,	2	Graduado en décimas de segundo
Propipetas	Viscosidad,	3	x

Aparatos	Prueba	Cantidad	Especificaciones
Cilindros graduados	Viscosidad, punto de inflamación, Karl Fisher	8	2 (25 ml, 50 ml, 100 ml, 250 ml)
Dispositivo de medición de temperatura	Viscosidad	2	Termómetros de líquido calibrados
Solventes de grado técnico	Punto de inflamación, método de cuatro bolas	2	tolueno y acetona, solventes no clorados
Porta viscosímetros	Viscosidad	2	ASTM D446 e ISO 3105
Bureta (10, 20) ml	Numero base	2	Graduado en divisiones de 0.05 mL, precisión $\pm 0.02$ mL
Solución de limpieza	Viscosidad	3	Acido crómico o una solución fuertemente oxidante que no contenga cromo (Tener cuidado)
Agitador (Eléctrico o mecánico)	Numero base	1	Eléctrico (material químicamente inerte) velocidades variables
Vaso de precipitado	Numero base	8	Hecho de vidrio de borosilicato (forma alta), 2(50 ml, 100 ml, 250 ml, 250 ml, 500 ml)
Soporte de titulación	Numero base	1	x
Cepillos de limpieza para vaso precipitado	Numero base, viscosidad	30	Tamaños (1/16, 1/9, 1/6, 1/5, 1/4, 1/3, 2/3, 3/4, 1) in
Balanza	x	2	Precisión de 0.1g, 6000g.
Cuenta gotas	x	15	Goteros graduados de vidrio
Placa eléctrica de calentamiento para laboratorio	x	2	Hasta 300°C Sobre La Placa, 1 Puesto De 12.5 Cm Diámetro, En Acero Inoxidable
Computador portátil	x	1	Especificaciones mínimas de rendimiento
Memoria USB	X	2	128 Gb de almacenamiento

### **5.3 ESTUDIO DE MERCADO**

Debido a que esta propuesta plantea un laboratorio de análisis y caracterización de aceites lubricantes se ve la necesidad de generar recursos que sean útiles para el buen funcionamiento del laboratorio, por eso se busca la crear un estudio que demuestre la factibilidad del mercado que genera el departamento de Santander.

#### **5.3.1 Objetivo del Estudio de Mercado**

- Diagnosticar las necesidades de los procedimientos de análisis de aceite.
- Delimitar el mercado objetivo de un laboratorio para la creación del laboratorio de análisis y caracterización de aceites lubricantes

**5.3.2 Fuentes de Información.** Como fuente de información se seleccionaron fuentes directas e indirectas las cuales proporcionan información actualizada del mercado y nos indican la verdadera necesidad de las empresas seleccionadas

Como fuentes directas se seleccionó:

- Encuestas realizadas a los encargados de mantenimiento de las empresas seleccionada en la muestra
- Entrevistas a conocedores del área de laboratorios para análisis de lubricantes

Como fuente indirecta se ha seleccionado las estadísticas elaboradas por:

- Cámara de comercio de Santander

**5.3.3 Tamaño de la Muestra.** Para poder determinar el tamaño de la muestra estadística a analizar se partió de los registros obtenidos del grupo de estudios económicos de la superintendencia de industria y comercio.

La población total de empresas registradas es de 205 en Santander, por lo tanto, la formula a utilizar será la de estadística simplificada para poblaciones finitas, ya que esta nos dice que se puede utilizar para poblaciones menores a 100.000. El tamaño de la muestra se determinará de la siguiente manera:

$$n = \frac{(Z^2) * (P) * (Q) * (N)}{(E^2)(N - 1) + (Z^2) * (P) * (Q)}$$

Donde:

n= Tamaño de muestra buscado

N= Tamaño de población o Universo

Z= Parámetro estadístico que depende el Nivel de confianza (NC)

E= Error de estimación máximo aceptado

P= Probabilidad que ocurra el evento estudiado (éxito)

Q= Probabilidad que no ocurra el evento estudiado

En el estudio se asumirá que el comportamiento será normal ya que es una población numerosa, la confianza que se escoge será del 90% lo que corresponde a un valor de la Z de 1,645 y el error permitido que se eligió fue el máximo de este parámetro (10%).

Para determinar los valores de P y Q, se tendrá en cuenta que el servicio de análisis y caracterización de aceites no es común en Santander así que se tomaran como valor P=10% y Q=90%.

Sustituyendo los valores en la formula se obtiene:

$$n = \frac{(1.645^2) * (10\%) * (90\%) * (37324)}{(10\%^2)(37324 - 1) + (1.645^2) * (10\%) * (90\%)}$$

$$n = 21,86$$

Por lo tanto, la muestra a analizar es de 22 personas encargadas del área de mantenimiento en las empresas registradas en la cámara de comercio de Santander.

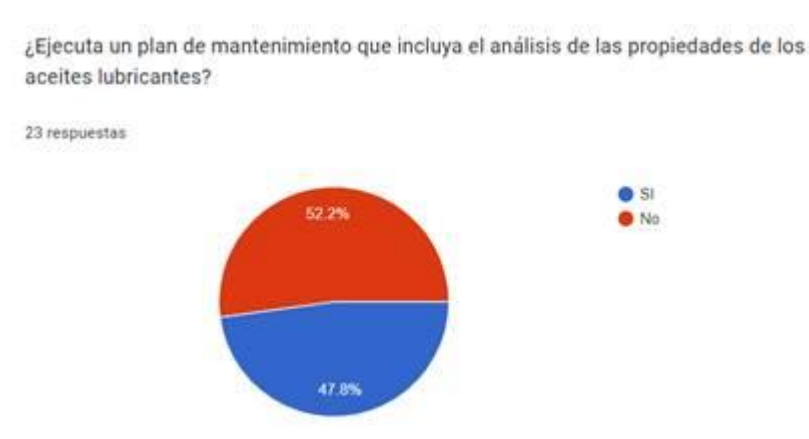
**5.3.4 Encuestas.** Para la elaboración del estudio de mercado en la presente investigación hubo la necesidad de aplicar un medio de recolección de información que ayudara a recopilar y tabular de manera ordena los datos precisos derivados de instituciones que manejan y/o conocen sobre el análisis y caracterización de aceites lubricantes.

Es así, que se utilizó un cuestionario a manera de encuestas semiestructuradas con preguntas abiertas y cerradas que ayudara a la búsqueda e identificación de las necesidades más apremiantes de cada una de las empresas del sector industrial apostadas en el departamento de Santander, según las estadísticas registradas en la Cámara de Comercio Departamental, que corresponden a 205 empresas, situando una muestra del 10% que corresponde a 22 empresas. (Ver ANEXO A).

**5.3.5 Resultados.** A partir del estudio de mercado se determinó que actualmente de las 23 empresas incluidas en el estudio 11 empresas poseen el análisis de las propiedades de los aceites lubricantes como parte de su plan de mantenimiento, esto representa el 47,8% del total estudiado, el restante del porcentaje pertenece

al número de empresas que no poseen un análisis de las propiedades del aceite en su plan de mantenimiento, los resultados se mostraran en la figura 14.

**Figura 14. Grafica primera pregunta de la encuesta**

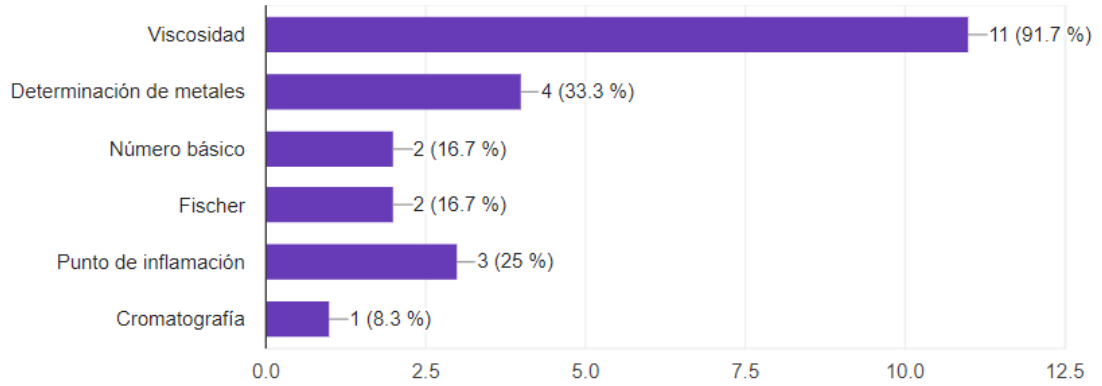


También se pudo determinar que de las 11 empresas que poseen un análisis de las propiedades del aceite en su plan de mantenimiento, el 91,7% de estas utilizan la prueba de viscosidad para este mismo análisis, dándonos una idea que esta prueba es la de más importancia para las empresas Santandereanas, los resultados se mostraran en la figura 15.

### Figura 15. Gráfica segunda pregunta de la encuesta

¿Cuáles de las siguientes propiedades de un aceite lubricante en uso, le ofrece su proveedor de servicio actualmente?

12 respuestas

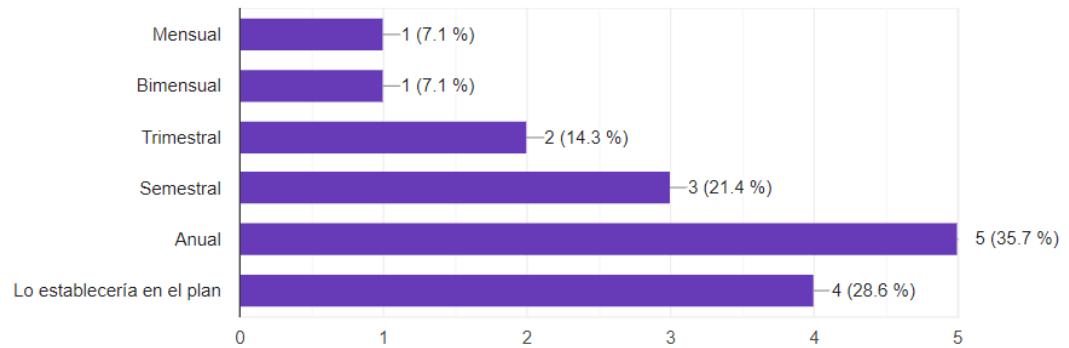


En la encuesta se pudo recopilar información del tiempo estimado que tienen las empresas para realizar el análisis de las propiedades del aceite en su plan de mantenimiento, pudiendo observar que el 35,7% de las empresas realizan este análisis anualmente, los resultados se mostraran en la figura 16. En esta gráfica se puede observar que el 28,6% eligieron la opción de establecerlo en el plan, esta respuesta es de gran relevancia ya que muestra que empresas podrían encontrarse interesadas en el análisis de propiedades de los aceites lubricantes.

### Figura 16. Grafica tercera pregunta de la encuesta

¿Con qué frecuencia solicita el servicio?

14 respuestas

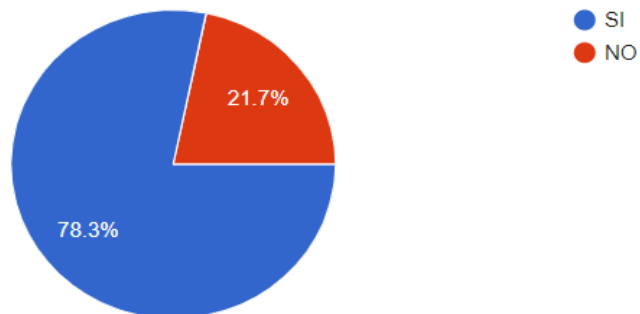


En el estudio se decidió implementar una pregunta que diera información sobre del interés de las empresas por realizar análisis de propiedades en los aceites lubricantes, se pudo observar que el 78,3% se encuentra interesado en incluir en su plan de mantenimiento el análisis de propiedades de los aceites lubricantes, los resultados se mostraran en la figura 17.

### Figura 17. Grafica cuarta pregunta de la encuesta

¿Se encuentra interesado en incluir en su plan de mantenimiento el análisis de las propiedades de los aceites lubricantes?

23 respuestas

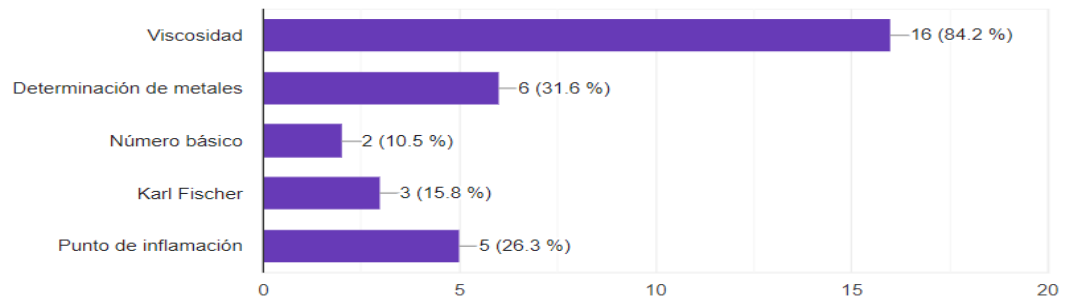


El estudio determino adicionalmente que pruebas deseaban incluir en su plan de mantenimiento las empresas encuestadas, se pudo observar que la prueba más deseada para incluir a sus planes de mantenimiento es la prueba de viscosidad con un 84,2%, los resultados se mostraran en la figura 18.

### Figura 18. Grafica quinta pregunta de la encuesta

¿Cuál de las siguientes pruebas está dispuesto a incluir en su plan de mantenimiento para el análisis de las propiedades de los aceites lubricantes?

19 respuestas

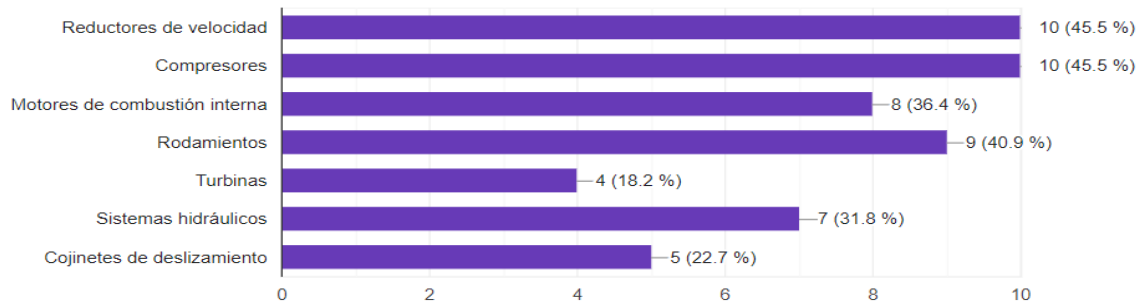


Para finalizar el estudio se esperaba conocer en cuales equipos las empresas desean o realizan el análisis de propiedades de los aceites lubricantes obteniendo como resultado que los compresores y los reductores de velocidad son los equipos más solicitados para este tipo de análisis, los resultados se mostraran en la figura 19.

### Figura 19. Grafica sexta pregunta de la encuesta

¿Cuáles de los siguientes equipos incluiría en un plan de mantenimiento basado en análisis de lubricante?

22 respuestas



### 5.3.6 Análisis de los Resultados

- El estudio de campo determinó que el 47,8% de las empresas encuestadas practican en sus planes de mantenimiento un análisis a las propiedades de los aceites lubricantes, se determinó que el 35,7% realizan estos estudios una vez por año dando a entender que estas pruebas son parte de su plan de mantenimiento programado.
- La mayoría de las empresas encuestadas seleccionaron la prueba de viscosidad como parte de su plan de mantenimiento lo que indica que esta es la prueba a la que se le podría dar más relevancia en el laboratorio, al analizar las empresas que no poseen el análisis de aceite en su plan de mantenimiento también se pudo ver una mayor tendencia de las empresas hacia la prueba de viscosidad. Al analizar la encuesta se puede observar que el 78,3% se encuentra interesado en incluir en su plan de mantenimiento el análisis de propiedades de los aceites lubricantes, esto es un buen índice en la búsqueda de extensión del laboratorio, también gracias a la tendencia marcada se puede poner una línea de investigación fijada hacia la viscosidad. (ANEXO A)

- Como la prueba de viscosidad es la más necesitada o aplicada en los planes de mantenimiento se decide tomar esta prueba para realizar una guía de laboratorio, esta será enfocada para que los estudiantes pueden conocer el proceso del análisis mediante la prueba ASTM D446, esta guía será orientada hacia la búsqueda de valores cinemáticos y dinámicos.

El objetivo de la guía de laboratorio se basará en determinar la viscosidad cinemática de los líquidos, tanto transparentes como opacos, e identificar un procedimiento sencillo para el cálculo de viscosidad dinámicas a partir de la medición de viscosidades cinemáticas. (ANEXO B)

#### **5.4 UBICACIÓN**

El presente proyecto sugiere la instalación de un laboratorio de lubricación en la Universidad Industrial de Santander sede Guatiguara cuya planta física cuenta con el espacio disponible para realizarlo a cabo. El espacio encargado de albergar los equipos es el laboratorio de investigación SICE grupo GIEMA de la sede guatiguara, debido a que este espacio en la actualidad no tiene un uso relevante se toma como ejemplo para la planificación del espacio que tendría cada uno de los equipos.

Cabe resaltar que la universidad no solo dispone del espacio requerido, sino que este permanece en situación de almacén en el que no se le da un uso destacable y no puede ser aprovechado por la comunidad académica para darle un uso ideal.

Siendo la Escuela de Ingeniería Mecánica una de las que más destaquen no solo dentro de la misma universidad sino del país, se hace difícil de creer que la escuela no cuente con estos espacios, ya que no solo se trata de un espacio para

que los estudiantes puedan realizar prácticas, sino que también se podría realizar extensión a las empresas que requieran de las pruebas ya mencionadas.

El Parque Tecnológico Guatiguará se encuentra ubicado en el municipio de Piedecuesta, Santander Kilometro 2 Vía Refugio.

**Figura 20. Fotografía entrada principal Sede Guatiguara**



Fuente : Google Earth

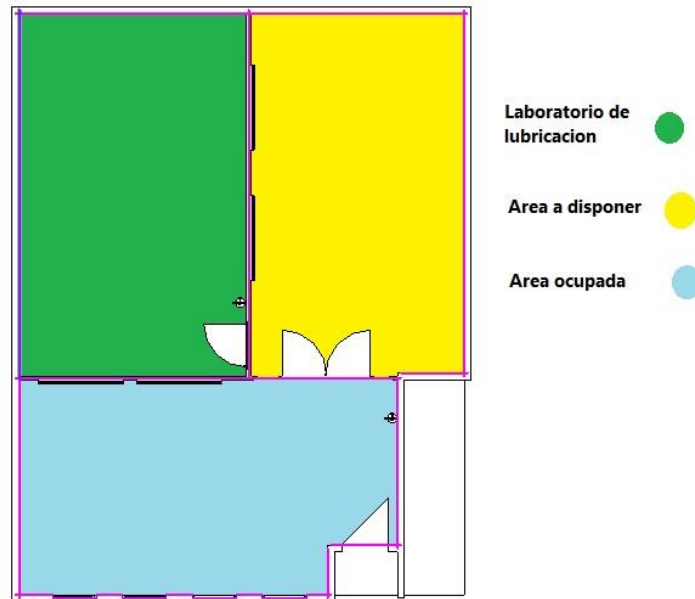
**5.4.1 Infraestructura Física.** En la actualidad la escuela de ingeniería mecánica cuenta con espacios aptos para acoger a estudiantes que empiezan su carrera universitaria, la escuela en sus últimos periodos académicos recibió a un promedio de 135 estudiantes de nuevo ingreso, y siendo caracterizada por ser una de las escuelas más llamativas y muy bien equipadas dentro del campus, hace que sea fundamental la creación de nuevos espacios en los que los estudiantes puedan seguir realizando prácticas. Aprovechando el espacio con el que cuenta el profesor Jorge Luis Chacón Velasco en la sede UIS-Guatiguara y la disponibilidad de este, se plantea la creación de un nuevo laboratorio en la que profesores y estudiantes puedan hacer uso.

Puntualizando, el espacio en el que quedaría ubicado el laboratorio es de aproximadamente 92.8585 m<sup>2</sup> divididos entre el área ya ocupada, el área que se va a usar y el área en la que el profesor encargado va a realizar otro tipo de proyecto. Este espacio estaría ubicado en el sótano del edificio, bajando las escaleras o elevador a mano derecha, exactamente en el salón conocido como Laboratorio de investigación SICE.

Como se había mencionado en los objetivos del presente trabajo, el espacio en el que quedara ubicado el laboratorio será en el salón del Laboratorio de investigación SICE, o laboratorio de Pruebas de Lubricantes, esta determinación se basa en que el laboratorio va a estar enfocado a el área de análisis tribológicos y asignaturas afines que tengan que hacer uso de las instalaciones.

Actualmente el Laboratorio de investigación SICE se divide en dos salas, entrando por el pasillo del sótano, se encuentra la zona ya ocupada en la que los estudiantes y profesores podrían tomar notas, explicar las practicas a realizar y dar las primeras indicaciones, siguiendo se encontraría el lugar en donde quedaría ubicado el laboratorio de lubricación y el lugar a disponer del profesor encargado. (Anexo C).

**Figura 21. Zonas del laboratorio**

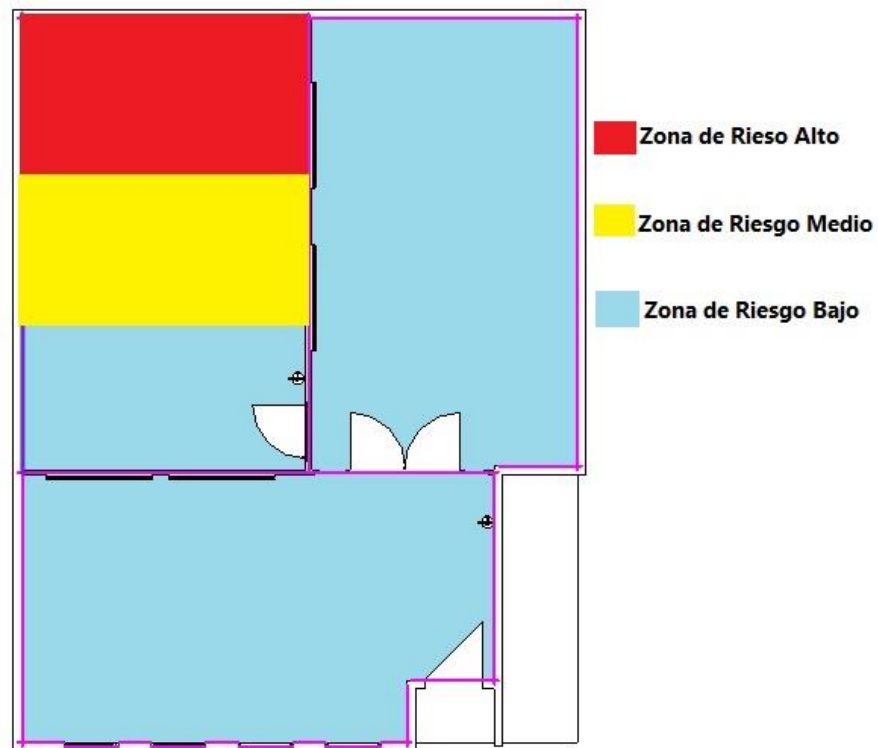


Para poder definir el uso de cada uno de los espacios, primero se debe de tener en cuenta el riesgo que se tiene a la hora de la realización de cada una de las pruebas con cada uno de los equipos, aunque estos equipos ya cuentan con medidas contra posibles fallos y el porcentaje de falla es muy reducido, se plantea una distribución en la que si se llegaran a presentar accidentes o el personal dentro del laboratorio tuviera que desalojar lo puedan hacer de forma segura, algunas eventualidades que se podrían presentar son:

- Derrame de sustancia toxica
- Incendio por falla del equipo o por mal uso de este
- Evacuación por alarma sísmica
- Emisión de vapores tóxicos por mal uso del equipo o falla en sus componentes
- Explosión de equipo

Teniendo en cuenta las posibles eventualidades que se podrían presentar se plantean las diferentes franjas de riesgo para el personal:

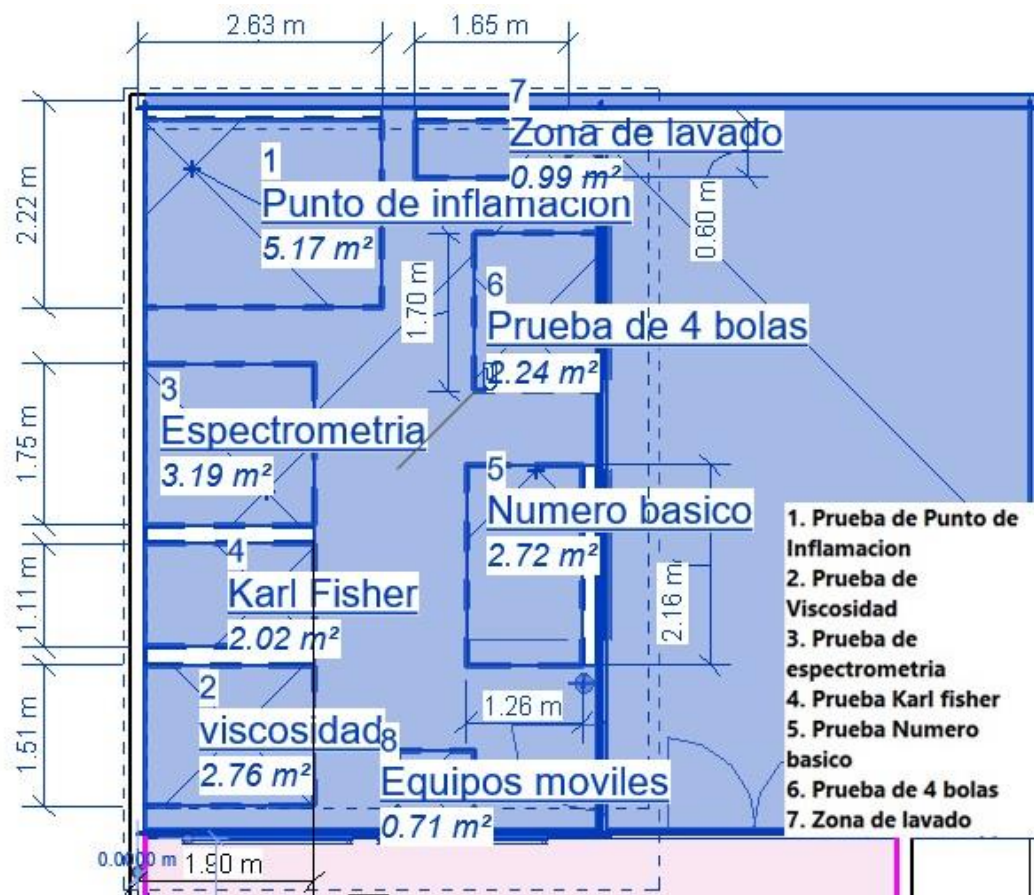
**Figura 22. Zonas de riesgo**



La segunda etapa consiste en identificar los equipos y tener una idea de cómo podrían ir repartidos, así como el espacio que ocuparían, para esto se simula el plano en el software Revit el cual es una herramienta informática en la cual se puede hacer visualización de la distribución del espacio antes de ser instalados logrando obtener información de las áreas de las zonas y el espacio total.

El espacio dentro del salón en la que estarían alojados los equipos es de aproximadamente 39.25 m<sup>2</sup>, distribuidos entre cada una de las pruebas, se propone dividir el recinto en siete zonas como se aprecia en el siguiente plano generado en Revit.

**Figura 23. Distribución del laboratorio por zonas**



## 5.5 ANÁLISIS DE COSTOS

Para poder poner en marcha el laboratorio se tuvo en cuenta los costos personales, costos de equipos y costos de materia prima, esos costos se catalogarán como costos directos del laboratorio.

**5.5.1 Costos Personales.** Aquí se detalla los costos relacionados con el concepto de remuneración del trabajo al personal considerando en este caso el auxiliar que maneja el laboratorio cumpliendo con lo estipulado de 120 horas semestrales

**Tabla 11. Costos personales**

COSTO PERSONAL			
CARGO	SALARIO SEMESTRAL	SALARIO SEMESTRAL	SALARIO ANUAL
Auxiliar	\$ 908,526	\$ 908,526	\$ 1.817,052
Docente	N/A	N/A	N/A
		<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1,817,052</b>

Las funciones a desempeñar del auxiliar del laboratorio serán:

- Interpretar la información contenida en documentaciones técnicas y administrativas para organizar la extracción y preparación de las probetas de ensayos.
- Interpretar la información técnica contenida en normas, manuales de procedimientos y órdenes de trabajo para realizar los distintos ensayos mecánicos.
- Supervisar actividades realizadas por estudiantes u otros usuarios que requieran el uso del laboratorio.

**5.5.2 Costos de Equipos.** Aquí se detallan los costos de equipos preseleccionados para el buen funcionamiento del laboratorio, incluyendo equipos basados en la norma ASTM.

**Tabla 12. Costos de equipos**

Equipos	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Garantía
Serie SpectrOil 100 - (RDE-DES) Analizador elemental	1	US \$160.800	\$ 160.800	2 años
viscosímetro semicero de cannon manning	3	US \$222	\$ 666	5 años
Viscosímetro Digital Saybolt de Doble Tubo	1	US \$5000	\$ 5.000	2 años
Cole-Parmer® Standard Viscosity Bath	1	US \$5040	\$ 5.040	2 años
Medidor del punto de inflamación e incendio Cleveland CLA 5	1	US \$26,000	\$ 26.000	2 años
Campana extractora de gases	1	US \$5,812	\$ 5.812	2 años
Valorador coulométrico C20S Karl Fischer	1	US \$18,447	\$ 18.447	2 años
Comprobador de aceite lubricante automático TBN ASTM D2896	1	US \$3.500	\$ 3.500	1 año
Probador automático de cuatro bolas para la prevención del desgaste	1	US \$20,000	\$ 20.000	2 años
Pera pipeteadora de 3 vías	3	US \$12,47	\$ 37,41	Depende del uso
Cilindros graduados	8	US \$90,45	\$ 723,60	Depende del uso
Termómetros de líquido calibrados	2	US \$32,89	\$ 65,78	Depende del uso
Bureta (10, 20 )ml	2	US \$41,95	\$ 83,90	Depende del uso
Agitador	1	US \$1087,39	\$ 1.087,39	2 años
Cepillos de limpieza para vaso precipitado	30	US \$3,38	\$ 101,40	Depende del uso
Vaso de precipitado	2	US \$3,95	\$ 7,90	Depende del uso
Reloj/Cronometro	1	US \$18,82	\$ 18,82	Depende del uso
Tubos capilares	3	US \$3,09	\$ 9,27	Uso único
Cuenta gotas	15	US \$0,38	\$ 5,70	Depende del uso
Portaviscosímetro	2	US \$141,16	\$ 282,32	1 año
Soporte de titulación	1	US \$68,40	\$ 68,40	1 año
Balanza	2	US \$21,12	\$ 42,24	3 meses
Placa electrica de calentamiento	2	US \$234,80	\$ 469,60	1 año
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 248.268,73</b>	

**5.5.3 Costos Materia Prima.** Los solventes se tomarán como parte de materia prima ya que son primordiales para el desarrollo de este laboratorio, ya que estos solventes nos ayudaran con el medioambiente ya que estos solventes se disuelven rápido ayudando a que los aceites lubricantes que se requieran examinar tengan una correcta finalización como residuo.

**Tabla 13. Costos materia prima**

COSTO MATERIA PRIMA		
DRESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO TOTAL
Tolueno	5 litros	\$ 29,39
Acetona	5 litros	\$ 22,98
Ácido Crómico	500 gr	\$ 6,47
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 58,84</b>

**5.5.4 Costo Mobiliario.** Aquí se detallan los costos del mobiliario seleccionado para el buen funcionamiento del laboratorio, también se incluyen como parte del mobiliario las señales de precaución y punto ecológico. El diseño del mobiliario se encuentra en la figura 24.

**Tabla 14. Costos de mobiliario**

Costo Mobiliario			
Mobiliario	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Mueble laboratorio	7 metros	US \$200	\$ 1.800
Sillas de poliuretano	6 sillas	US \$11,4	\$ 68,40
Punto ecológico	14 litros	US \$40,74	\$ 40,74
Señales de precaución	9 señales	US \$4,31	\$ 38,79
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 1.948</b>

Para la señalización del laboratorio se utilizará las siguientes señales, estas estarán distribuidas en todo el laboratorio según indicación de la distribución de los equipos ya que algunas de estas mismas son propuestas para equipos específicos.

- Aviso señal peligro advertencia (Todos los equipos)
- Aviso señal solo personal autorizado (Campana extractora)
- Aviso Calcomanías Rombo-Líquido inflamable (Almacén de solventes)
- Señales uso obligatorio de guantes (Equipo prueba punto de inflamación)
- Señales Riesgo mínimo (Equipo prueba de viscosidad)
- Señales sustancias corrosivas (Almacén de solventes)
- Señales residuos peligrosos (Punto ecológico)
- Aviso señal prohibido fumar (Entrada asignada del laboratorio)
- Aviso prohibido comer (Entrada asignada del laboratorio)

## 6. CONCLUSIONES

- El análisis de lubricantes tiene una gran demanda en el país como se ha mencionado, pero en la capital del departamento pese a ser conocida como ciudad universitaria los laboratorios que se dedican a hacer este tipo de pruebas pertenecen en mayor medida a sectores privados, dejando de lado al estudiantado y provocando que el contacto con los equipos sea hasta el campo laboral, lo que no habla muy bien de las universidades de la región, a lo que hay que responder con la implementación de más espacios en los que el estudiante pueda interactuar.
- La escuela de ingeniería mecánica a pesar de tener laboratorios en otras ramas con equipos de muy alta calidad, en el área de tribología esta subdesarrollada dejando que los conceptos teóricos no puedan ser llevados a la práctica.
- Si la universidad decide adquirir los equipos propuestos en este proyecto, lograra tener un laboratorio bastante completo, puesto que se buscó que cada uno de los equipos fueran seguros y con resultados muy precisos.
- La sede Guatiguara al contar con espacios en los que no se les está haciendo un uso adecuado, permite que más proyectos como este puedan realizarse y poder sacarle un beneficio para con la comunidad universitaria.
- El presente estudio determino que es factible desde el punto de vista económico y técnico la creación y operación de un laboratorio dedicado al análisis y caracterización de aceite lubricantes.
- Mediante el estudio de mercado se pudo determinar que del 100% de las empresas encuestadas el 78,3% se encuentra interesado en incluir en su plan de mantenimiento el análisis de propiedades de los aceites, esto nos ayuda a confirmar la factibilidad de esta propuesta.
- Mediante el análisis de costos se pudo recopilar la información necesaria para saber la inversión inicial que se desea obtener para la creación del laboratorio de análisis y caracterización de aceites lubricantes.

## 7. RECOMENDACIONES

- A pesar de la importancia que tiene la creación de este laboratorio se recomienda tener en cuenta el costo de la maquinaria al momento de adquirirla ya que los equipos planteados aquí están bajo la norma ASTM.
- La actividad propuesta para el uso del laboratorio de análisis y caracterización de aceites lubricantes está diseñada para asignaturas como tópicos especiales tribología, Mantenimiento centrado en contabilidad e Ingeniería de Mantenimiento no obstante el laboratorio enriquecerá la experiencia académica de muchas más materias que manejan proyecto de asignatura.
- Se recomienda seguir a la vanguardia con respecto a las pruebas que se podrían implementar en un futuro ya que esto ayudaría a fortalecer los conocimientos generados en el laboratorio.
- El laboratorio está destinado al desarrollo de investigación para estudiantes de Pregrado, Especialización, Maestría y doctorado de la Universidad Industrial de Santander.
- El análisis de costos se hizo con todos los equipos propuestos sin embargo si es necesario una reducción del monto estipulado se podría contemplar la idea de solo utilizar los equipos utilizados en las pruebas que las empresas más realizan en su plan de mantenimiento tales como; Prueba de viscosidad, determinación de metales y punto de inflamación.
- El proyecto se ubicó en la universidad Industrial de Santander sede guatiguara sin embargo esto no limita a que este será su espacio definitivo, debido a su versatilidad el laboratorio de lubricación podría ubicarse en cualquier espacio de la escuela de ingeniería mecánica.

## BIBLIOGRAFÍA

[Anónimo]. OneLab [página web]. [Consultado el 11, octubre, 2022]. Disponible en Internet: [https://www.onelab.com.co/tubos-capilares-microhematocrito-x-100-unid?gclid=CjwKCAjwp9qZBhBkEiwAsYFsb-ojjEtwH7bFAedAVM4RWba6yVBuOuUvnMeTYvr2EekHGMzc0b6OaBoCy40QAvD\\_BwE](https://www.onelab.com.co/tubos-capilares-microhematocrito-x-100-unid?gclid=CjwKCAjwp9qZBhBkEiwAsYFsb-ojjEtwH7bFAedAVM4RWba6yVBuOuUvnMeTYvr2EekHGMzc0b6OaBoCy40QAvD_BwE).

ATTEN2. La influencia de la lubricación en los elementos de desgaste de maquinaria industrial. [En línea]. Disponible en <https://blog.atten2.com/elementos-de-desgaste-de-maquinaria-industrial>.

CÁMARA DE COMERCIO DE BUCARAMANGA - [ Directorio CCB] [Anónimo]. Cámara de Comercio de Bucaramanga [página web]. [Consultado el 11, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <https://www.camaradirecta.com/directorio-ccb?search=industrias&city=bucaramanga>.

Coexito Lubricantes. Lubricantes Industriales. [ En línea]. Disponible en <https://lubricantescoexito.com/tipos-de-lubricantes-industriales-como-diferenciarlos.html>.

COMPREHENSIVE TEST List - TestOil [Anónimo]. TestOil [página web]. [Consultado el 11, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <https://testoil.com/services/oil-analysis/comprehensive-test-list/>.

[Consultado el 11, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <https://cmrodri.webs.ull.es/senalizacion-de-seguridad.pdf>.

datision. Mantenimiento predictivo y lubricantes de la maquinaria industrial. [ En línea]. Disponible en <https://datision.com/blog/mantenimiento-predictivo-lubricantes/>.

GÓMEZ TORRES, MICHAEL LEONEL y BAREÑO QUITIAN, CRISTIAN DANIEL. PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE FABRICACIÓN DIGITAL FABLAB EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA. Bucaramanga: [s.n.], 2022. 100 p.

HERRERA DE LEON, Hugo José. Estudio de factibilidad para la creación de un laboratorio de análisis de lubricantes de automotrices en Guatemala. Guatemala: [s.n.], 2007. 215 p.

Noria. Identificando las etapas de la oxidación del aceite. [En línea]. Disponible en <https://noria.mx/lublearn/identificando-las-etapas-de-la-oxidacion-del-aceite/>.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DEL COMERCIO. Determination of Wear Metals and Contaminants in Used Lubricating Oils or Used Hydraulic Fluids by Rotating Disc Electrode Atomic Emission Spectrometry<sup>1</sup>. Rosewood: Copyright de ASTM Int, 2019. 6 p.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DEL COMERCIO. Método de prueba estándar para Número base de productos derivados del petróleo por titulación potenciométrica de ácido perclórico. Rosewood: Copyright de ASTM Int, 2022. 10 p.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DEL COMERCIO. Método de prueba estándar para Agua en petróleo crudo por valoración coulométrica de Karl Fischer. Rosewood: Copyright de ASTM Int, 2018. 6 p.

OKS. Tribología tipos de lubricantes pastas. [En línea] .Disponible en <https://www.oks-germany.com/es/tribologia/tipos-de-lubricantes/pastas/>

LUBOKS. Lubricantes y anticorrosivos. [En línea]. Disponible en <https://www.luboks.com.ar/grasas.htm>.

Pochteca. TIPOS DE LUBRICANTES INDUSTRIALES EN LA ACTUALIDAD. [En línea]. Disponible en <https://mexico.pochteca.net/tipos-de-lubricantes-industriales/>.

Prodinsa. Contaminantes de lubricantes. [En línea]. Disponible en Prodinsa. Contaminantes de lubricantes. [En línea]. Disponible en Prodinsa. Contaminantes de lubricantes. [En línea]. Disponible en <https://prodinsa.com/asistencia-tecnica/preguntas-frecuentes-faq/contaminantes-de-lubricantes/>.

Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids. Rosewood: Copyright de ASTM Int, 2019. 15 p.

Standard Test Method for Measurement of Extreme-Pressure Properties of Lubricating Grease (Four-Ball Method). Rosewood: Copyright de ASTM Int, 2019. 6 p.

## ANEXOS

### ANEXO A. Preguntas Realizadas en la Encuesta



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROPUESTA DE VIABILIDAD ACADÉMICA Y DE INFRAESTRUCTURA DE UN LABORATORIO  
DE CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE ACEITE LUBRICANTES UBICADO EN LA  
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Realizo	Julieth Camila Mendoza Pelayo Rafael Antonio Corredor Páez	2174066 2174103
Reviso	Ing. Francisco José Saldivia Saldivia	

1.- ¿Ejecuta un plan de mantenimiento que incluya el análisis de las propiedades de los aceites lubricantes?

SI  NO

En el caso que su respuesta sea positiva,

1.1.- ¿Cuáles de las siguientes propiedades de un aceite lubricante en uso, le ofrece su proveedor de servicio actualmente?

- Viscosidad  Karl Fischer  
 Determinación de metales  Punto de inflamación  
 Número básico

Otras: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

1.2.- ¿Con qué frecuencia solicita el servicio?

- Mensual  Bimensual  Trimestral  
 Semestral  Anual  Lo establecería el plan

En el caso que la respuesta sea negativa,

2.- ¿Se encuentra interesado en incluir en su plan de mantenimiento el análisis de las propiedades de los aceites lubricantes?

SI  NO

2.1 ¿Cuál de las siguientes pruebas está dispuesto a incluir en su plan de mantenimiento para el análisis de las propiedades de los aceites lubricantes?

- Viscosidad  Karl Fischer  
 Determinación de metales  Punto de inflamación  
 Número básico



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

2.2 ¿Cuáles de los siguientes equipos incluiría en un plan de mantenimiento basado en análisis de lubricante?

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Reductores de Velocidad       | <input type="checkbox"/> Turbinas                   |
| <input type="checkbox"/> Compresores                   | <input type="checkbox"/> Sistemas Hidráulicos       |
| <input type="checkbox"/> Motores de Combustión Interna | <input type="checkbox"/> Cojinetes de Deslizamiento |
| <input type="checkbox"/> Rodamientos                   |   |

Otros: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Comentarios Generales:

---

---

---

---

---

EMPRESA: \_\_\_\_\_

DEPARTAMENTO: \_\_\_\_\_

RESPONSABLE: \_\_\_\_\_

TELÉFONO: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

## **ANEXO B. Modelo practica de laboratorio análisis de aceites lubricantes para la determinación de la viscosidad**

### **PRACTICA No. 1**

#### **DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD SAYBOLT Y LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA**

##### **1. Objetivos**

Determinar la viscosidad Saybolt Universal y Saybolt Furol a lubricantes a temperaturas específicas entre 70 y 210°F.

Determinar la viscosidad cinemática de los líquidos, tanto transparentes como opacos, e identificar un procedimiento sencillo para el cálculo de viscosidad dinámicas a partir de la medición de viscosidades cinemáticas.

##### **2. Marco teórico**

La viscosidad es una medida de la resistencia interna al movimiento de un fluido, que se debe a la fuerza de atracción entre sus moléculas.

La evaluación de la viscosidad de lubricantes a condiciones de trabajo y reposo es un importante paso tanto para la evaluación de las condiciones del equipo como las del lubricante. Esta evaluación puede obtenerse de un análisis de laboratorio corrido a la temperatura de trabajo, o usando correlaciones empíricas.

La viscosidad de un líquido está directamente relacionada con el tipo y tamaño de los compuestos que constituyen el lubricante. Las viscosidades de lubricantes compuestos por moléculas grandes y complejas serán mucho más altas, que las viscosidades de lubricantes compuestos por moléculas más pequeñas.

##### **Tipos de viscosidad**

Los diferentes tipos de viscosidad que se conocen toman su nombre según el método utilizado para su determinación. Entre los más conocidos están:

- Viscosidad Cinemática
- Viscosidad Dinámica o Absoluta
- Viscosidad Saybolt

### Viscosidad cinemática

La viscosidad cinemática es la medida de la resistencia interna de un líquido o gas a fluir por gravedad, al igual que la viscosidad dinámica depende o está en función de la temperatura. La viscosidad cinemática es la que relaciona la viscosidad dinámica con la densidad de la siguiente manera:

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

(Ecuación 1)

v: viscosidad cinemática ( $\frac{m^2}{s}$ )

$\mu$ : viscosidad dinámica (Pa\* s)

$\rho$ : Densidad ( $\frac{kg}{m^3}$ )

En el sistema cgs la unidad de la viscosidad cinemática es el Stoke, St, la cual tiene dimensiones de  $cm^2/s$  (1Stoke $\rightarrow$ 0.0001m<sup>2</sup>/s), o el Centistoke (cSt), conociendo que (100 cSt $\rightarrow$ 1 Stoke)

En el sistema inglés la viscosidad Cinemática se expresa en pies<sup>2</sup>/s; donde, 1 St = 1  $cm^2/s$ = 1.0764 E-3 *pies*<sup>2</sup>/s

Generalmente para conocer el valor o magnitud de la viscosidad cinemática de los fluidos a temperaturas diferentes a la del ambiente se utilizan viscosímetros empíricos, y uno de ellos es el Viscosímetro de Saybolt, el cual permite hallar el índice de viscosidad de un lubricante; ya que consta de dos tubos que están rodeados por un baño de aceite a temperatura regulada a través de unas resistencias eléctricas

### Viscosidad Dinámica

Es la fuerza tangencial sobre una unidad de área de dos planos paralelos, distantes una unidad, cuando el espacio entre los dos planos se llena con un fluido y uno de los dos planos se mueve a una velocidad unitaria en su propio plano respecto al otro.

La viscosidad dinámica, también llamada viscosidad absoluta, es numéricamente el producto de la viscosidad cinemática y la densidad del líquido, ambos a la misma temperatura.

En el sistema cgs, la unidad de la viscosidad dinámica es el poise, P, la cual tiene las dimensiones g/cm\*s. Como el poise es una unidad muy grande, se acostumbra a expresar la viscosidad dinámica en centipoises, cp.

En el sistema inglés la viscosidad dinámica se expresa en lb-masa/pies\*s;  
donde,  
1 Poise= 0.0672 lb-masa/pies\*s.

### **Viscosidad Saybolt.**

Existen dos tipos: Viscosidad Saybolt Universal y Viscosidad Saybolt Furol.

#### **Viscosidad Saybolt Universal**

Es la medida de la viscosidad cinemática, que se define como el tiempo en segundos que se demora en llenar un envase o matraz estándar de 60 ml, cuando el aceite se escurre por un orificio de 1/16" de diámetro interno.

#### **Viscosidad Saybolt Furol.**

Es el tiempo de flujo de 60 ml. de muestra que fluyen a través de un orificio Furol calibrado bajo condiciones específicas. La viscosidad Furol es aproximadamente una décima parte de la viscosidad Universal y es recomendada para aquellos productos de petróleo que tienen viscosidades mayores a 1000 SSU, tales como aceites combustibles y otros materiales residuales.

#### **Factores que afectan la viscosidad de los lubricantes.**

La viscosidad, así como otras propiedades físicas de los líquidos es afectada tanto por la presión como por la temperatura. Un incremento en la temperatura causa una disminución en la viscosidad (hasta un límite específico, a partir del cual se presenta el comportamiento opuesto en la muestra de líquido). En general, una disminución en la presión causa una disminución en la viscosidad, teniendo en cuenta que el único efecto de la presión es comprimir el líquido.

#### **A. VISCOSIDAD SAYBOLT (NORMA ASTM D 88)**

##### **Importancia y uso**

La viscosidad Saybolt es una medida exclusiva de la industria petrolera. Su utilización ha sido restringida a los aceites lubricantes y a los crudos. Las viscosidades Saybolt Universal y Furol pueden convertirse a viscosidad cinemática mediante el uso de las ecuaciones que se presentan en la siguiente tabla.

- Cronómetro: graduado por lo menos en décimas de seg.
- Termómetros ASTM 17F y 22F
- Vaso de precipitado de 100 ml.
- Calentador eléctrico.



Figura 1: Viscosímetro Saybolt

## 6. Preparación.

- El baño debe llenarse con aceite térmico al menos  $\frac{1}{4}$ " por encima del anillo de desbordamiento del viscosímetro.
- Estabilice el baño del viscosímetro a la temperatura de prueba.
- Suministre agitación adecuada y control térmico al baño de tal forma que la temperatura no fluctúe más de  $\pm 0.05 \pm F$ .
- Coloque la muestra en el vaso de 100 ml. y precaliéntela sin exceder más de  $3^{\circ}F$  a la temperatura de prueba (Por experiencia, para temperaturas superiores a  $150^{\circ}F$ , precaliente de 5 a  $6^{\circ}F$  por encima de la temperatura de prueba). Agite continuamente homogenizando la temperatura del líquido de prueba. Tenga cuidado de no calentar a temperatura que esté dentro de los  $50^{\circ}F$  por debajo del punto de relampagueo de la muestra porque la volatilidad perdida puede alterar la composición.
- Inserte el tapón en la cámara de aire localizada en el fondo del viscosímetro ajustándolo correctamente para evitar escapes, que pueden verificarse al retirar el tapón y observar que tiene aceite; esto causa errores.

## CONVERSIÓN DE VISCOSIDADES SAYBOLT A VISCOSIDADES CINEMÁTICAS

**Tabla 1. Parámetros de viscosidad**

VISC. SAYBOLT	Intervalo t (seg.)	VISC. CINEMÁTICA ( St )
SSU	32 < t < 100	0.00226 t - 1.95 / t
	t > 100	0.00220 t - 1.35 / t
SSF	25 < t < 40	0.0224 t - 1.84 / t
	t > 40	0.0216 t - 0.60 / t

### 3. Resumen del Método.

El método consiste en medir el tiempo de flujo para el paso de 60 ml. de muestra fluyendo a través de un cilindro con un orificio calibrado en la parte inferior, bajo condiciones controladas de temperatura. El tiempo se multiplica por el factor de corrección del orificio y se toma como la viscosidad Saybolt de la muestra a esa temperatura. La prueba se hace para temperaturas específicas entre 70 y 210 °F.

### 4. Consideraciones.

Los orificios deben usarse teniendo en cuenta los parámetros de prueba que se presentan en la siguiente tabla.

#### PARÁMETROS DE PRUEBA PARA LOS ORIFICIOS SAYBOLT UNIVERSAL Y FUROL

**Tabla 2 Parámetro viscosidad Saybolt**

ORIFICIO	TEMP. PRUEBA (°F)	LIMITES TIEMPO DE FLUJO (s)
UNIVERSAL	70, 100, 130 y 210	32 < t < 1000
FUROL	77, 100, 122 y 210	t > 25

Las determinaciones de viscosidad no deben hacerse a temperaturas por debajo del punto de rocío de la atmósfera circundante; ya que el precipitado de agua afectaría la exactitud en las mediciones.

### 5. Equipos, elementos y reactivos.

- Viscosímetro Saybolt: equipado principalmente con un baño de temperatura constante.
- Tubo de succión.
- Embudo con filtro (100 mesh).
- Frascos receptores: calibradas para contener 60 ml.

## 7. Procedimiento.

- Utilice el embudo con una malla de 100 mesh para filtrar la muestra preparada agregándola directamente del recipiente al viscosímetro hasta un nivel superior al anillo de desbordamiento.
- Agite la muestra hasta que su temperatura permanezca constante dentro de los 0.05 °F de la temperatura de prueba durante un 1 min. de continua agitación. Use un (0.25) movimiento circular de 30 a 50 rpm para agitar. No intente ajustar la temperatura introduciendo cuerpos calientes o fríos dentro de la muestra porque puede afectar la composición de esta.
- Retire el termómetro y con el tubo de succión remueva el aceite que se encuentra por encima del anillo de desbordamiento, entre el anular externo y la pared del viscosímetro.
- Coloque la copa receptora graduada de 60 ml. justo debajo del orificio a utilizar. La marca de graduación de la copa debe estar 10 a 13 cm. del fondo del viscosímetro.

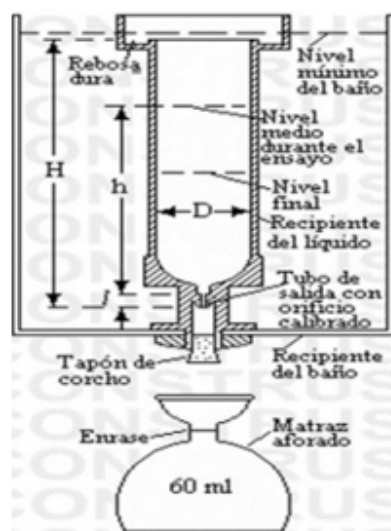


Figura 2: Esquema Viscosímetro Saybolt

- Retire el tapón del orificio y accione simultáneamente el cronómetro.
- Deje transcurrir el tiempo necesario para que el menisco llegue a la marca de graduación de la copa receptora y regístrelo

## 8. Cálculos

- Tome en cuenta los factores de corrección para los diferentes orificios utilizados.

- Multiplique el tiempo de flujo  $t$ , por el factor de calibración del orificio respectivo  $F$  (consultar en el manual de calibración), y reporte el tiempo corregido como Segundos

Saybolt Universal (SSU) ó Segundos Saybolt Furol (SSF) según el orificio que se haya utilizado.

Para valores inferiores a 200 seg., reporte con aproximación de 0.1 seg. Para valores mayores aproxime al segundo más cercano.

## **B. VISCOSIDAD CINEMÁTICA (NORMA ASTM D445)**

### **1. Importancia y uso**

La determinación de la medida de viscosidad es esencial en la especificación de muchos fluidos utilizados en lubricación.

### **2. Resumen y método**

Este método está basado en el principio de flujo por gravedad y consiste en medir el tiempo de flujo de un volumen fijo de líquido a través de instrumentos capilares de vidrio bajo condiciones de temperatura preestablecidas. La viscosidad cinemática se calcula conociendo el tiempo de flujo medido y la constante de calibración del capilar seleccionado. La viscosidad dinámica se obtiene del producto de la viscosidad cinemática con la densidad de la muestra a la temperatura de la prueba.

### **3. Consideraciones**

La serie Cannon- Fenske de viscosímetros capilares exige un tiempo de flujo mínimo de 200 seg. (Excepto el capilar No. 50 que es de 250 seg) para un capilar dado, por debajo de este valor no se deben tomar datos y se debe proceder a probar otro capilar. En ningún caso la utilización de este tipo de viscosímetros capilares (Canon - Fenske Routine) es apropiada para bitúmenes (ASTM 2170) y asfaltos (ASTM 2171).

### **4. Equipos, elementos y reactivos**

- Termómetros de vidrio, estandarizados, con una precisión de 0.02°C (0.04°F).
- Viscosímetros: tipo capilar calibrados.

- Baño térmico: provisto de un aceite térmico transparente con suficiente profundidad de manera que el viscosímetro al montarse, quede por lo menos 20 mm. por debajo de la superficie del líquido y lo mismo por encima del fondo del baño. El controlador de temperatura debe ser tal que para el rango de 15 a 100°C (60 a 212°F) la temperatura media del baño no varíe más de 0.01°C (0.02°F). Para temperaturas fuera de este rango la variación no debe exceder los 0.03°C (0.05°F).

- Soporte que le permita al viscosímetro permanecer suspendido en posición vertical

dentro del baño.

- Cronómetro: debe disponerse de un medidor de tiempo cuyas lecturas puedan ser tomadas con una discriminación de 0.02 seg. o más y que tenga una precisión de  $\pm 0.07\%$  cuando se pruebe a intervalos mayores de 15 min.
- Solvente: que sea completamente miscible con la muestra.
- Solución de ácido crómico para limpieza de los capilares.

## 6. Preparación

- Identificar la muestra (nombre ó número de referencia).
- Haga un estimativo de la viscosidad de la muestra.
- Seleccione un capilar calibrado y seco con el rango apropiado para la viscosidad cinemática estimada. Tenga presente el valor de la constante del capilar seleccionado.
- Coloque el baño térmico a la temperatura deseada.
- Pase la muestra a través de un filtro No. 200, para evitar el taponamiento del capilar.
- Determine la densidad del aceite (gr/cc) a las condiciones de temperatura de la prueba.

## 7. Procedimiento

Los detalles específicos de la operación varían dependiendo del tipo de viscosímetro y de que tan opaco sea el fluido. Los procedimientos que se siguen para cada caso se describen a continuación:

### 7.1 Procedimiento para líquidos transparentes.

- Cargue el viscosímetro con el líquido (generalmente 10 ml) de acuerdo con el diseño del instrumento. Filtre la muestra antes de cargarla, a través de una malla No. 200 (75  $\mu\text{m}$ ).
- Permita que el viscosímetro cargado con la muestra permanezca en el baño térmico el tiempo suficiente para que alcance la temperatura

de prueba (mínimo 15min.). Con ciertos productos que exhiben comportamiento de gel se debe tener especial precaución; las medidas se deben realizar a temperaturas lo suficientemente altas para que tales materiales fluyan libremente. Si el diseño del viscosímetro lo requiere ajuste el volumen de muestra a la marca.

- Use succión (si la muestra contiene componentes no volátiles) o presión para ajustar el nivel de tope de la muestra 5mm. arriba de la primera marca.
- Con la muestra fluyendo libremente, mida en segundos el tiempo requerido por el menisco para pasar de la primera a la segunda marca del capilar. Si el tiempo de flujo es menor que el especificado para el capilar, seleccione un viscosímetro con un capilar de diámetro más pequeño y repita la operación.

## **7.2 Procedimiento para líquidos opacos.**

Por lo general los viscosímetros usados para líquidos opacos son de tipo flujo reversible y aparecen reseñados en la norma ASTM D2515. La viscosidad de aceites refinados, aceites negros lubricantes, aceites combustibles residuales y productos de mezclas similares pueden afectarse por la historia térmica previa; para minimizar esto el procedimiento a seguir es el siguiente:

- Caliente el recipiente original, en un horno a  $60 \pm 2$  °C por una hora.
- Revuelva completamente con una barra no metálica de suficiente longitud para alcanzar el fondo del recipiente. Continúe revolviendo hasta que no haya sedimentos o grumos adheridos a la barra. Si es necesario aumente la temperatura de calentamiento para lograr uniformidad en la mezcla.
- Separe mezcla suficiente para dos viscosímetros en un frasco de 100 ml. Y tape holgadamente.
- Sumerja el frasco en un baño de agua hirviendo por 30 min., saque el frasco y agite por 1 min.
- Cargue los dos viscosímetros de acuerdo con el diseño del instrumento. Filtre la muestra en una malla No. 200 (75  $\mu$ m) y si es necesario utilice un filtro precalentado (para evitar coagulación).
- Coloque los viscosímetros en el baño térmico, espere a que la muestra alcance la temperatura de prueba y siga todo el procedimiento como el anterior.
- Calcule la viscosidad cinemática en cSt (mm<sup>2</sup>/seg.) de las dos determinaciones. Para aceites lubricantes las dos determinaciones no deben diferir más de 1.7% de  $\pm$  a 50°C y de 1.1 % de 80°C y 100°C. Si las dos determinaciones exceden estos límites debe repetirse la operación.

## 8. Cálculos

- Calcule la viscosidad cinemática  $\nu$ , del tiempo de flujo medido  $t$  y la constante del instrumento  $C$ , por reemplazo en la ecuación:

$$\nu = C * t$$

Donde:

$\nu$ : Viscosidad cinemática, cSt ( mm<sup>2</sup>/s)

$C$ : constante de calibración del viscosímetro, cSt/s.

$t$ : tiempo de flujo, seg.

- Calcule la viscosidad dinámica  $\mu$ , de la viscosidad cinemática calculada  $\nu$  y la densidad  $\rho$ , reemplazando en la ecuación (1):

## 9. Reporte de datos

Tabla 3. Reporte de datos

MUESTRA	TEMP. (°F)	C	DENS. (g/ml)	t (seg)	VISC. CINEMÁTICA (cSt)	VISC. DINAMICA (cP)
	$t_1$					
	$t_2$					
	$t_3$					

Realice una gráfica de la viscosidad dinámica vs. temperatura para observar cómo varía dicha viscosidad para cada hidrocarburo de prueba.

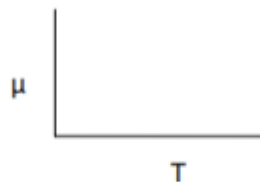


Figura 3. Grafica viscosidad dinámica vs temperatura

## 10. Preguntas

- a) Que utilidad práctica tiene el dato de viscosidad cinemática?
- b) De qué forma se determina el factor de corrección para viscosidades Saybolt?
- c) Cómo varía la viscosidad con la temperatura para fluidos hidrocarburos?
- d) Que otros factores afectan la viscosidad y de qué forma?

## ANEXO C. Plano de laboratorio de análisis y caracterización de aceites lubricantes

Figura 24. Plano de la distribución del laboratorio de análisis y caracterización

