

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Implementación Y Construcción De Un Viscosímetro Aplicado Al Estudio Del Comportamiento De La Viscosidad Cinemática De Aceites Lubricantes SAE (20W 50, 10W 40, 5W 40).

Jesus Manuel Coronel Villarreal, Pamela Cristina Muñoz España

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

Carlos Borrás Pinilla

PhD. Ingeniería Mecánica

Codirector

Helio Sneyder Esteban Villegas

PhD (c). Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

Año 2024

Dedicatoria

A Dios por transmitirme su sabiduría para poder entender los retos de esta etapa de mi vida, la fortaleza para poder enfrentar este proceso y resolverlo de una manera ordenada y efectiva, y por su amor y soporte en la culminación de mi derrotero en la universidad con éxito.

A mi madre y a mi tía Jacky, por su total apoyo en el transcurso de desarrollo de mi carrera profesional, por su confianza, en creer en mis capacidades como estudiante y como persona, por su sacrificio durante estos años de carrera, en donde siempre estuvieron pendientes y cuidando de mí.

A todos mis familiares, amigos y personas que de alguna u otra manera aportaron a mis años de universidad su presencia y amor.

PAMELA CRISTINA MUÑOZ ESPAÑA

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Dedicatoria

A Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, agradezco por guiar cada paso de este camino académico y por brindarme la fuerza necesaria para superar los desafíos. Tu infinita misericordia y amor han sido mi sustento en los momentos más difíciles, y por ello te elevo mi más sincero agradecimiento.

A mis queridos padres, quienes han sido mi mayor apoyo y ejemplo de perseverancia, les agradezco por su inquebrantable amor y por creer en mí en todo momento. Su sacrificio y dedicación han sido la luz que ha iluminado mi sendero hacia el éxito.

A mis hermanos, cómplices de alegrías y compañeros de travesías, les agradezco por su ánimo y motivación constante. Su presencia ha sido un bálsamo en los momentos de incertidumbre, y cada uno de ustedes ha sido un pilar fundamental en mi vida.

A mis queridos tíos y primos, quienes han compartido este viaje conmigo, les agradezco por su aliento y por estar siempre presentes en cada etapa de mi vida. Su alegría y cariño han enriquecido mi camino, y cada recuerdo compartido es un tesoro invaluable.

A mis amigos y a mi novia, fieles compañeros de risas y confidencias, les agradezco por su lealtad y por caminar a mi lado en las buenas y en las malas. Su amistad ha sido un regalo preciado, y cada momento compartido ha sido un tesoro que atesoro en mi corazón.

JESÚS MANUEL CORNEL VILLARREAL

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad Industrial de Santander por brindarnos la oportunidad de formarnos como ingenieros mecánicos. Su dedicación a la excelencia académica y su compromiso con la investigación han sido fundamentales en nuestro desarrollo profesional.

Agradecemos profundamente al profesor Carlos Borrás Pinilla por su invaluable orientación, apoyo y confianza a lo largo de este proyecto. Su experiencia, sabiduría y visión han sido una inspiración para nosotros.

Asimismo, queremos agradecer al profesor Helio Sneyder Esteban Villegas por su guía experta y su compromiso incansable con nuestro crecimiento académico. Sus consejos y sugerencias han enriquecido enormemente este trabajo.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	16
1. Descripción del Problema.....	17
2. Objetivos	18
2.1. Objetivo General.....	18
2.2. Objetivos Específicos.....	18
3. Justificación	19
4. Antecedentes	21
4.1. Antecedentes A Nivel Internacional.....	21
4.2. Antecedentes A Nivel Nacional.....	21
5. Marco teórico	22
5.1 Viscosidad	22
5.2. Tipos de viscosidad	23
5.2.1. <i>Viscosidad cinemática</i>	23
5.2.2. <i>Viscosidad dinámica</i>	24
5.3. Determinación de la viscosidad.....	25
5.4. Lubricante	26
5.5. Ley de Stokes	26
5.6. Viscosímetro	28

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

5.7. Viscosímetros capilares.....	28
5.8. Viscosímetros de cuerpo móvil	29
5.9. Viscosímetros rotacionales	31
5.10. Ley de la viscosidad de newton	32
5.11. Composición de un lubricante	33
5.12. Funciones de los lubricantes	35
6. Metodología Para La implementación Del Viscosímetro	37
6.1. Alternativas de Diseños para el Viscosímetro.....	39
6.1.1. <i>Alternativa 1.</i>	40
6.1.2. <i>Alternativa 2.</i>	41
6.1.3. <i>Alternativa 3.</i>	42
6.2. Selección de Alternativa.....	43
7. Implementación y Construcción.....	46
7.1 Implementación Mecánica Del Sistema.....	46
7.1.1. <i>Matriz QFD aplicada a la manufactura</i>	46
7.1.2. <i>Matriz QFD aplicada al material de la manufactura aditiva</i>	47
7.1.3. <i>Matriz QFD Aplicada a material del eje</i>	48
7.1.4. <i>Matriz QFD Aplicada a Tipo de Actuador</i>	51
7.1.5. <i>Matriz QFD Aplicada al Control</i>	53
7.1.6. <i>Análisis de elementos finitos para el eje</i>	54

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

7.1.7. <i>Diseño en SolidWorks de los componentes</i>	55
7.2 Diseño Electrónico del Sistema	55
7.2.1. <i>Partes principales del código y su función general</i>	56
7.2.2. <i>Especificaciones de los componentes electrónicos</i>	58
7.2.2.1. Arduino MEGA 2560.	58
7.2.2.2. Modulo conversor I2C.	59
7.2.2.3. Pantalla LCD 20x04.	60
7.2.2.4. Teclado matricial 4x4 tipo membrana.	61
7.2.2.5. Sensor de proximidad Inductivo LJ12A3-4-Z/BX.	62
7.2.2.6. Adaptador corriente alterna (ac)/ corriente directa (dc).....	63
7.2.2.7. Servo motor MG995.....	64
7.2.2.8. Termómetro digital.....	65
7.2.3. <i>Diagrama de conexión de los componentes electrónicos</i>	66
7.2.4. <i>Diagrama de conexión de los componentes electrónicos</i>	67
7.3. Diseño Informático Del Sistema	69
7.3.1. <i>Componentes de la página web</i>	69
7.3.1.1. Log in.	69
7.3.1.2. Archivos.	70
7.3.1.3 Base de datos MySQL (phpMyAdmin).	71
7.3.2. <i>Funcionalidades de la página web</i>	71

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

7.3.2.1. Registro de usuarios.	71
7.3.2.2. Selección de tipo de usuario.	72
7.3.2.3. Gestión de registros.	73
7.3.2.4. Generación de gráficos.	73
7.4. Impresión 3D De Las Piezas y Construcción Del Viscosímetro	74
8. Pruebas y Resultados	76
8.1. Fase 1, caracterización de las esferas y validación de las ecuaciones usadas en el viscosímetro construido.....	77
8.2. Fase 2, comparación de resultados Aceite Motul 7100 20W-50.	81
8.3. Fase 3, comparación de resultados Aceite Motul 5100 10W-40.	86
8.4. Fase 4, comparación de resultados Aceite Repsol C3 5w-40.	92
8.5. Fase 5, comparación de resultados con las fichas técnicas de los aceites.	97
9. Costos del Equipo	103
10. Conclusiones y Recomendaciones	104
Bibliografía	106

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Muestras de masa de esfera</i>	78
Tabla 2 <i>Muestras de diámetro de esfera</i>	78
Tabla 3 <i>Datos promedio</i>	79
Tabla 4 <i>Densidad y volumen de las muestras</i>	79
Tabla 5 <i>Ficha técnica aceite Motul 7100 20w-50</i>	98
Tabla 6 <i>Ficha técnica aceite Motul 5100 10w-40</i>	98
Tabla 7 <i>Ficha técnica Aceite Repsol C3 5w-40</i>	99
Tabla 8 <i>Costos de fabricación del viscosímetro</i>	103

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Capas del fluido desplazadas por un esfuerzo cortante</i>	22
Figura 2 <i>Fluido laminar alrededor de una esfera</i>	27
Figura 3 <i>viscosímetros capilares</i>	28
Figura 4 <i>viscosímetro de cuerpo móvil</i>	29
Figura 5 <i>Viscosímetro rotacional Rotavisc lo-vi</i>	31
Figura 6 <i>Fases de desarrollo del proyecto Parte 1</i>	37
Figura 7 <i>Fases de desarrollo del proyecto Parte 2</i>	38
Figura 8 <i>Viscosímetro de Hoöppler</i>	40
Figura 9 <i>Viscosímetro de Engler</i>	41
Figura 10 <i>Viscosímetro de Saybolt Furol</i>	42
Figura 11 <i>Selección de alternativas</i>	44
Figura 12 <i>Matriz QFD aplicada a la manufactura</i>	46
Figura 13 <i>Matriz QFD aplicada al material de la manufactura aditiva</i>	47
Figura 14 <i>Cálculos de torque aplicado al eje</i>	48
Figura 15 <i>Matriz QFD aplicada al material para los ejes</i>	50
Figura 16 <i>Matriz QFD aplicada al actuador</i>	51
Figura 17 <i>Servo motor seleccionado</i>	52
Figura 18 <i>Matriz QFD aplicada al software y hardware</i>	53
Figura 19 <i>Aplicación de análisis de elementos finitos al eje</i>	54
Figura 20 <i>Modelos CAD del prototipo de viscosímetro</i>	55
Figura 21 <i>Imagen de referencia de Arduino MEGA 2560</i>	58
Figura 22 <i>Imagen de referencia de Módulo conversor I2C</i>	59

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Figura 23 <i>Imagen de referencia de Pantalla LCD 20*04</i>	60
Figura 24 <i>Imagen de referencia de Teclado matricial 4*4 tipo membrana</i>	61
Figura 25 <i>Imagen de referencia de sensor de proximidad Inductivo LJ12A3-4-Z/BX</i>	62
Figura 26 <i>Imagen de referencia de adaptador de corriente alterna a/c corriente directa d/c</i>	63
Figura 27 <i>Imagen de referencia de Servo motor MG995</i>	64
Figura 28 <i>Imagen de referencia de Termómetro digital</i>	65
Figura 29 <i>Diagrama esquemático de conexiones</i>	66
Figura 30 <i>Diagrama de flujo de la pantalla LCD</i>	68
Figura 31 <i>Inicio de sesión Pagina web desarrollada</i>	69
Figura 32 <i>Repositorio de archivos de la página web desarrollada</i>	70
Figura 33 <i>Base de datos de la página web desarrollada</i>	71
Figura 34 <i>Registro de usuarios en la página web desarrollada</i>	71
Figura 35 <i>Selección de tipo de usuario en la página web desarrollada</i>	72
Figura 36 <i>Formulario de registro de viscosidad en la página web desarrollada</i>	73
Figura 37 <i>Gráficas generadas por la acción del botón graficar en la página web desarrollada</i>	73
Figura 38 <i>Viscosímetro finalizado</i>	74
Figura 39 <i>Fases para el desarrollo de las pruebas y resultados</i>	76
Figura 40 <i>Resultados de viscosidad usando el viscosímetro capilar, muestra virgen 20w-50</i>	82
Figura 41 <i>Resultados de viscosidad usando el viscosímetro capilar, muestra usada 20w-50</i>	82
Figura 42 <i>Resultados de viscosidad usando el viscosímetro diseñado, muestra virgen 20w-50</i>	83
Figura 43 <i>Resultados de viscosidad usando el viscosímetro diseñado, muestra usada 20w-50</i>	83
Figura 44 <i>Resultados de viscosidad usando el viscosímetro capilar, muestra virgen 10w-40</i>	87
Figura 45 <i>Resultados de viscosidad usando el viscosímetro capilar, muestra usada 10w-40</i>	87
Figura 46 <i>Resultados de viscosidad usando el viscosímetro diseñado, muestra virgen 10w-40</i>	88

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Figura 47 <i>Resultados de viscosidad usando el viscosímetro diseñado, muestra usada 10w-40.</i>	89
Figura 48 <i>Resultados de viscosidad usando el viscosímetro capilar, muestra virgen 5w-40.</i>	93
Figura 49 <i>Resultados de viscosidad usando el viscosímetro capilar, muestra usada 5w-40.</i>	93
Figura 50 <i>Resultados de viscosidad usando el viscosímetro diseñado, muestra virgen 5w-40.</i>	94
Figura 51 <i>Resultados de viscosidad usando el viscosímetro diseñado, muestra usada 5w-40.</i>	95
Figura 52 <i>Resumen de resultados tabulados</i>	101
Figura 53 <i>Resumen de resultados diagrama de dispersión</i>	101

Lista de apéndices

	Pág.
Apéndice A Código de control del viscosímetro	110
Apéndice B Planos del viscosímetro.....	124
Apéndice C Guía rápida de uso de viscosímetro	134

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Resumen

Título: Implementación y construcción de un viscosímetro aplicado al estudio del comportamiento de la viscosidad cinemática de aceites lubricantes SAE (20w 50, 10w 40, 5w 40).

Autores: Jesus Manuel Coronel Villarreal, Pamela Muñoz España

Palabras Clave: viscosímetro, viscosidad cinemática, aceite lubricante, fluidos, SAE.

Descripción: La integración de sistemas informáticos y electrónicos en el viscosímetro demuestra la importancia de la interdisciplinariedad en la ingeniería, donde el conocimiento en programación y electrónica complementa la ingeniería mecánica para desarrollar soluciones tecnológicas. Se llevó a cabo la implementación y construcción de un viscosímetro utilizando tecnología de impresión 3D, lo que permitió la fabricación de componentes personalizados de manera eficiente y económica. Este viscosímetro incorpora un sistema informático y electrónico basado en un código C++ para el control, se realizaron pruebas de confiabilidad utilizando tres tipos de aceites lubricantes comunes: SAE 20W 50, 10W 40 y 5W 40. Estos aceites lubricantes son utilizados en la industria automotriz y poseen diferentes viscosidades a una temperatura de 40°C, lo que los convierte en candidatos ideales para evaluar la precisión y confiabilidad del viscosímetro.

Los resultados de las pruebas revelaron que el viscosímetro diseñado presentaba una variación en los valores de viscosidad medida entre el 1% y el 5% en comparación con los valores obtenidos utilizando un equipo normalizado conforme a la norma ASTM D445. Esta variación en los resultados estuvo influenciada por el tipo específico de aceite lubricante utilizado, ya que cada uno de ellos tiene propiedades viscosas distintas que pueden afectar la medición.

* Trabajo de Grado

** Facultad de ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de ingeniería mecánica. ingeniería Mecánica. Director: Carlos Borrás Pinilla. PhD Ingeniería Mecánica. Codirector: Helio Sneyder Esteban Villegas. PhD (c) Ingeniería Mecánica.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Abstract

Title: Implementation and construction of a viscometer applied to the study of the kinematic viscosity behavior of SAE lubricating oils (20w 50, 10w 40, 5w 40).

Authors: Jesús Manuel Coronel Villarreal, Pamela Muñoz España

Key Words: Viscometer kinematic, viscosity, lubricating oil, fluids, SAE.

Description: The integration of computer and electronic systems into the viscometer demonstrates the importance of interdisciplinarity in engineering, where knowledge in programming and electronics complements mechanical engineering to develop technological solutions. The Implementation and development of a viscometer using 3D printing technology was carried out, allowing for the efficient and cost-effective manufacturing of customized components. This viscometer incorporates a computer and electronic system based on C++ code for control, reliability tests were carried out using three types of common lubricating oils: SAE 20W 50, 10W 40, and 5W 40. These lubricating oils are used in the automotive industry and have different viscosities at a temperature of 40°C, making them ideal candidates for evaluating the accuracy and reliability of the viscometer.

The test results revealed that the designed viscometer exhibited a variation in measured viscosity values of 1% to 5% compared to values obtained using equipment standardized according to ASTM D445. This variation in results was influenced by the specific type of lubricating oil used, as each of them has different viscous properties that can affect the measurement.

* Degree Work

** School of Physic mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Carlos Borrás Pinilla. PhD Ingeniería Mecánica. Co-director: Helio Sneyder Esteban Villegas. PhD (c) Ingeniería Mecánica.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Introducción

La lubricación y la viscosidad han desempeñado roles cruciales en la evolución de la tecnología y la maquinaria. La necesidad de reducir la fricción y el desgaste en las partes móviles de las máquinas es un desafío constante. En este contexto, la viscosidad, o la resistencia de un fluido a fluir, se convirtió en una propiedad crítica de los lubricantes, ya que determina su capacidad para adherirse a las superficies y proporcionar una protección eficaz contra el desgaste.

Actualmente, la lubricación y la viscosidad son elementos esenciales en industrias, desde la automotriz y la aeroespacial hasta la energía y la fabricación. La búsqueda de lubricantes más eficientes y ecológicos se ha convertido en una prioridad, a medida que la sociedad busca reducir su huella ambiental. La historia de la lubricación y la viscosidad es una narrativa fascinante de cómo la ciencia y la tecnología han evolucionado para satisfacer las demandas de una sociedad en constante cambio, respaldando el progreso y la innovación en todos los rincones del mundo moderno.

En este contexto el presente proyecto presenta la implementación y construcción de un viscosímetro de bajo costo operativo, el cual permite medir la viscosidad cinemática de aceites lubricantes SAE (20W-50, 10W-40,5W-40), con altos niveles de precisión haciendo uso de la Ley de Stokes midiendo el tiempo de caída de una esfera dentro del aceite lubricante.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

1. Descripción del Problema

La industrialización moderna ha generado un aumento en el uso de maquinaria especializada en diferentes sectores de la industria, lo que ha llevado a la necesidad de maximizar la producción de manera confiable y efectiva, garantizando una operación segura y evitando fallas mecánicas. Según Brizuela, Hernández y Molina (2017), "el uso de lubricantes se ha vuelto común en la industria como una herramienta preventiva para el cuidado de equipos, estos funcionan como medios anti-tribológicos, mejorando el desempeño de los equipos y reduciendo los riesgos de fallas y averías frecuentes" (p. 12).

La viscosidad cinemática de los aceites lubricantes es crucial para garantizar un desempeño óptimo y una vida útil prolongada de los equipos. Según Ghiță, Grigorie y Marinescu (2019), "la viscosidad es una de las características más importantes del aceite lubricante, ya que influye en la formación de la capa de lubricación en diferentes condiciones" (p. 112). Además, "la resistencia viscosa debida a la fricción del movimiento es la carga aplicada entre las superficies en el aceite de lubricación, y es considerada una propiedad fundamental de los aceites lubricantes que influye en la generación de calor en rodamientos, cilindros y engranajes" (Liu, Lin y Pan, 2021, p. 223).

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es implementar y construir un sistema de información para un viscosímetro con el fin de analizar el cambio de la viscosidad cinemática en aceites lubricantes SAE (20W 50, 10W 40, 5W 40), durante su vida útil.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Contribuir con la misión de la escuela de ingeniería mecánica encargada de la formación profesional de estudiantes con alta calidad técnica y científica para aportar al continuo desarrollo social, fortaleciendo los conocimientos a través de la implementación y construcción de un viscosímetro, con el fin de analizar el cambio de la viscosidad cinemática en aceites lubricantes SAE (20W 50, 10W 40, 5W 40), durante su vida útil.

2.2 Objetivos Específicos

Identificar y definir las variables relevantes en los sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos e informáticos del viscosímetro, mediante una revisión bibliográfica, con el fin de establecer los componentes necesarios para su implementación y con menor costo para su posterior construcción.

Implementar, construir y verificar el correcto funcionamiento del sistema mecánico, eléctrico, electrónico e informático del viscosímetro, con el fin de crear un prototipo funcional que permita medir la viscosidad cinemática de los aceites lubricantes SAE (20W 50, 10W 40, 5W 40), basada en sus fichas técnicas.

Evaluar la confiabilidad del viscosímetro mediante la realización de pruebas de medición de la viscosidad cinemática de aceites lubricantes SAE (20W 50, 10W 40, 5W 40), de acuerdo con los procedimientos descritos en la norma ASTM D445, con el fin de determinar si el equipo cumple con los requisitos de precisión y exactitud necesarios para su uso en aplicaciones prácticas.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

3. Justificación

La lubricación adecuada es esencial para prevenir el desgaste y deterioro de los componentes de la maquinaria en uso, y la viscosidad del aceite lubricante es una de las características más importantes para garantizar una capa de lubricación adecuada en diferentes condiciones de funcionamiento. La resistencia viscosa debida a la fricción del movimiento influye en la generación de calor en piezas mecánicas como rodamientos, cilindros y engranajes, lo que puede resultar en un daño destructivo, sobrecalentamiento y fallas en la maquinaria, lo que demuestra la importancia de la medición precisa de la viscosidad en el mantenimiento y funcionamiento óptimo de la maquinaria.

En este sentido, los viscosímetros son ampliamente utilizados debido a su precisión y facilidad de uso en diversas industrias, como la petroquímica, farmacéutica y alimentaria. El viscosímetro tiene dos características principales, la primera es su portabilidad, que da facilidad para realizar análisis en campo sin necesidad de laboratorio, y la segunda es la capacidad para medir la viscosidad de los fluidos sin necesidad de una calibración frecuente, lo que reduce los costos y el tiempo de mantenimiento. Además, su distintivo principal es ser completamente digital, lo que significa que se pueden obtener lecturas precisas y confiables mediante la conversión de señales eléctricas en datos digitales. La particularidad es importante en industrias donde la precisión de la medición es crítica para la calidad del producto final, ya que garantiza la exactitud y consistencia de las mediciones en el tiempo.

Por lo tanto, la implementación y construcción de un viscosímetro es relevante en la mejora del control de calidad y el mantenimiento de maquinaria en diversas industrias, ya que permite la medición precisa de la viscosidad de los fluidos de forma fácil y eficiente. Además, su

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

capacidad para ofrecer mediciones confiables y precisas a lo largo del tiempo es una ventaja significativa sobre otros tipos de viscosímetros, lo que reduce los costos y el tiempo de mantenimiento, lo que aumenta la eficiencia de la producción.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

4. Antecedentes

4.1 Antecedentes A Nivel Internacional

En 2014, López llevó a cabo un proyecto en Perú para diseñar y construir un viscosímetro de escurrimiento adecuado para experimentos a nivel de laboratorio en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad del Callao. El viscosímetro de Engler construido es un dispositivo que se utiliza para medir la viscosidad cinemática aproximada de los aceites hasta un grado SAE de 60 con eficiencia. Este dispositivo consiste en un contenedor central con una tapa revestida de aislamiento, que tiene un orificio central de 2,40 mm de diámetro a través del cual fluye el aceite. El autor concluyó que el diseño del viscosímetro permitió la realización de prácticas más realistas para los estudiantes debido a su practicidad y facilidad de uso, lo que lo hace ideal para medir líquidos viscosos como aceites lubricantes. (López, 2014)

4.2 Antecedentes A Nivel Nacional

El viscosímetro desarrollado por Eduardo Páez Arboleda, para su proyecto de grado en la Universidad Industrial de Santander, representa un avance significativo en la medición de la viscosidad de aceites lubricantes en la industria. El dispositivo utiliza una técnica de medición por comparación, combinando sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos. De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, la precisión de este viscosímetro oscila entre el 94,6% y el 96,28%, lo que lo hace una herramienta confiable para su uso en el control de calidad y procesos industriales. El desarrollo de este tipo de tecnologías representa una contribución significativa para la mejora de la eficiencia y seguridad en los procesos industriales relacionados con la medición de viscosidad de aceites lubricantes. (Páez, 2022)

5. Marco teórico

5.1 Viscosidad

La viscosidad es una medida de la resistencia de un fluido a fluir o a deformarse bajo esfuerzo cortante. Se puede definir como la fricción interna entre las capas de un fluido que se opone al flujo. La viscosidad es una propiedad importante de los fluidos y se utiliza en una variedad de aplicaciones, desde la industria alimentaria hasta la industria petrolera.

Según Bird, Stewart y Lightfoot (2002), la viscosidad se define como la "propiedad de los fluidos que resisten el deslizamiento mutuo entre sus capas adyacentes y está relacionada con la fricción interna" (p. 3). Esta definición se basa en la idea de que la viscosidad es una medida de la fricción interna entre las capas de un fluido y que cuanto mayor sea la fricción interna, mayor será la viscosidad, La fórmula de la viscosidad se expresa como.

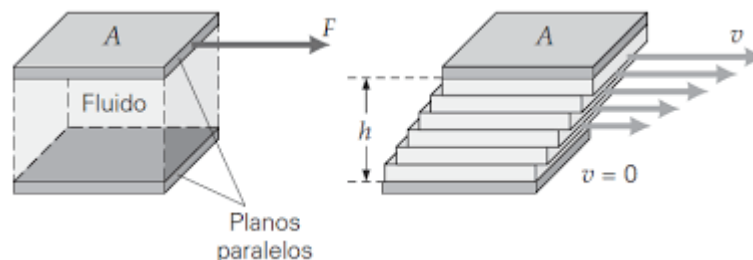
$$\frac{F}{A} = n * \left(\frac{dv}{dr}\right)$$

Donde la F es la fuerza, A es el área, dv/dr representa la velocidad a la que se mueve el líquido, finalmente n es una constante equivalente a 0.0089 Pa-s.

Figura 1

Capas del fluido desplazadas por un esfuerzo cortante

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



Nota: Tomado de (Tecnológico de Costa Rica, 2016), www.repositoriotec.tec

5.2 Tipos de viscosidad

5.2.1 Viscosidad cinemática

La viscosidad cinemática es una propiedad fundamental de los líquidos que mide su resistencia al flujo cuando se someten a una fuerza de corte, pero sin tener en cuenta su densidad. "Se define como la relación entre la viscosidad dinámica y la densidad del líquido". (Mills, 2019). La unidad de medida de la viscosidad cinemática en el sistema internacional es el metro cuadrado por segundo (m²/s). "Se puede determinar experimentalmente al medir el tiempo que tarda una cantidad conocida de líquido en fluir a través de un tubo de capilaridad conocida bajo la acción de la gravedad, viscosímetro de capilaridad" (Fernández-Rodríguez et al., 2017).

También se puede medir mediante viscosímetros basados en el principio de la vibración, que miden el tiempo de resonancia de un tubo lleno de líquido en función de su viscosidad cinemática (Fernández-Rodríguez et al., 2017). La determinación precisa de la viscosidad cinemática es crucial en la industria para garantizar un desempeño óptimo y una vida útil prolongada de los equipos que utilizan lubricantes y otros líquidos en sus procesos de producción, por definición la viscosidad cinemática es la relación entre la viscosidad absoluta y la densidad.

$$v = \mu/\rho$$

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Donde μ es la viscosidad absoluta o dinámica y ρ es la densidad del fluido.

5.2.2 Viscosidad dinámica

La viscosidad dinámica es una medida de la resistencia de un fluido a fluir debido a la fricción entre las capas del fluido que se deslizan unas sobre otras. Se define como la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación en un fluido en movimiento. Una de las técnicas más comunes para medir la viscosidad dinámica es el uso del viscosímetro de cilindros concéntricos, que se basa en la medición de la velocidad de rotación necesaria para mantener un fluido entre dos cilindros en movimiento constante.

También existen otros métodos, como el viscosímetro de caída de bola y el viscosímetro de tubo capilar, que se utilizan para medir la viscosidad de fluidos de alta y baja viscosidad, respectivamente. La viscosidad dinámica es una propiedad importante de los fluidos en muchas aplicaciones, como la industria de la energía, la producción de alimentos y la industria farmacéutica. La medición precisa de la viscosidad dinámica es esencial para el diseño y la operación de sistemas de transporte de fluidos, como tuberías y bombas. Además, la viscosidad dinámica también se utiliza para caracterizar la calidad de los lubricantes y para evaluar la eficacia de los aditivos para mejorar su desempeño.

La viscosidad dinámica de los fluidos newtonianos se puede expresar en Pa-s usando la siguiente ecuación, medida en un viscosímetro de caída de bola.

$$\mu = \frac{2}{9} * \frac{r^2 * g}{l} * (\rho_e - \rho_f) * t * k$$

Donde.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

μ = Viscosidad dinámica (Pa-s)

r = Radio de la esfera en (m)

g = Fuerza de gravedad (m/s^2)

l = La distancia recorrida por la esfera (m)

ρ_e = Densidad de la esfera (kg/m^3)

ρ_f = Densidad del fluido (kg/m^3)

t = Tiempo (s)

K =Constante de la esfera

5.3 Determinación de la viscosidad

Existen varias técnicas para determinar la viscosidad de líquidos. La viscosidad cinemática puede ser medida utilizando viscosímetros de flujo como el viscosímetro de Ostwald y el viscosímetro de Ubbelohde. Por otro lado, la viscosidad dinámica puede ser medida utilizando el viscosímetro de caída de bola y el viscosímetro de torsión. Además, también existen técnicas de medición indirecta de la viscosidad como la medición de la velocidad de flujo o la medición de la caída de presión. Cada técnica tiene sus propias ventajas y desventajas en términos de precisión, facilidad de uso y costo. Por lo tanto, la elección de la técnica de medición adecuada dependerá del propósito de la medición y de las condiciones específicas de la muestra de líquido en cuestión (Bird, Stewart & Lightfoot, 2002; Pethrick, 2006).

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

5.4 Lubricante

A la acción de frote entre sí de dos cuerpos sólidos, existe una importante resistencia al movimiento donde el nivel de pulido de las superficies es relevante, la resistencia se debe al efecto abrasivo de los bordes microscópicos y las protuberancias, donde la fricción se puede reducir utilizando materiales de energía de baja fricción que se deslizan fácilmente sobre otro. Cuando se usan partes metálicas, es necesario el uso de sustancias adicionales para reducir la fricción entre las dos superficies de contacto, estas sustancias se denominan lubricantes.

El lubricante es toda sustancia sólida, semisólida o líquida de origen animal, mineral o sintético que puesto entre dos piezas con movimiento entre ellas reduce el rozamiento y facilita el movimiento, aunque su función no solo se limita a esto también puede ser usado para sellar espacio entre piezas, debido a que en ciertos casos las superficies metálicas son irregulares a nivel microscópico y el lubricante completa estos orificios.

5.5 Ley de Stokes

La Ley de Stokes, desarrollada por el físico británico Sir George Stokes en el siglo XIX, es un principio fundamental en la física de fluidos que describe la fuerza de arrastre experimentada por un objeto que se mueve a través de un fluido viscoso, como aire o agua, a velocidades bajas. Esta ley es crucial para comprender cómo los objetos interactúan con los fluidos y tiene una amplia gama de aplicaciones en campos como la física, la biología y la ingeniería.

La fuerza de arrastre descrita por la Ley de Stokes es proporcional a la velocidad del objeto y al tamaño del objeto, representado por su radio, así como al coeficiente de viscosidad del fluido en el que se mueve. Matemáticamente, la relación se expresa como.

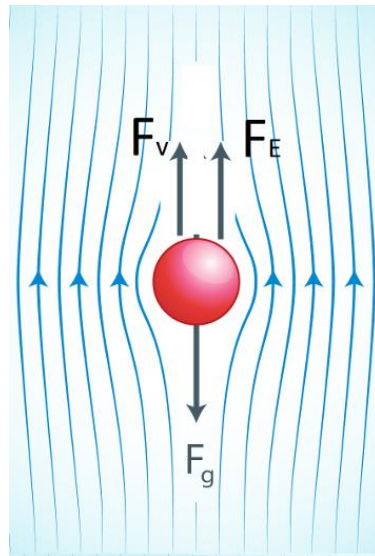
IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

$$F = 6\pi\eta Rv$$

Donde F es la fuerza de arrastre, η es el coeficiente de viscosidad del fluido, r es el radio del objeto y v es su velocidad.

Figura 2

Fluido laminar alrededor de una esfera



Nota: Tomado de (Potter, 2007)

Esta ley tiene implicaciones significativas en una variedad de contextos. En la biología, por ejemplo, ayuda a comprender cómo los microorganismos se mueven a través de fluidos biológicos como la sangre o la linfa. En la ingeniería, es fundamental para diseñar sistemas de filtración eficientes y comprender la aerodinámica de vehículos y estructuras que se mueven a través de fluidos.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Es importante tener en cuenta que la Ley de Stokes tiene limitaciones. Es válida únicamente para objetos que se mueven a velocidades bajas en fluidos viscosos. Para velocidades más altas o fluidos menos viscosos, otras teorías, como la Ley de Arrastre de Newton, son más apropiadas.

5.6 Viscosímetro

Un viscosímetro es un dispositivo utilizado para medir la viscosidad de un fluido, una propiedad física que describe la resistencia interna del fluido al fluir o al cambio de forma. La viscosidad es una medida importante en numerosos campos de la ciencia, la ingeniería y la industria, ya que afecta directamente al comportamiento y rendimiento de los fluidos en una amplia gama de aplicaciones.

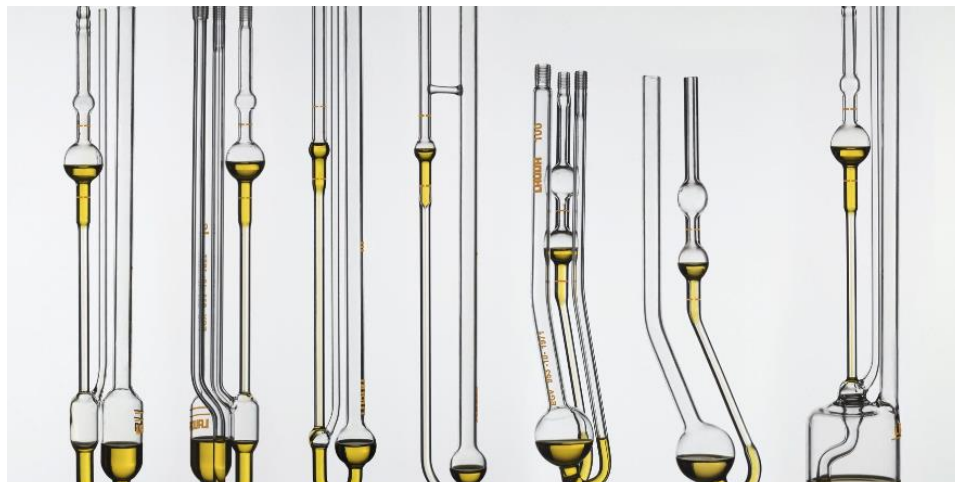
5.7 Viscosímetros capilares

Los viscosímetros capilares son instrumentos utilizados para medir la viscosidad de un fluido mediante el principio de la capilaridad, que es el fenómeno por el cual un líquido asciende o desciende por un tubo capilar debido a las fuerzas de cohesión y adhesión entre las moléculas del fluido y las del sólido del tubo. Estos viscosímetros son útiles para medir la viscosidad de líquidos de baja viscosidad.

Figura 3

viscosímetros capilares

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



Nota: Tomado de (J-ROHI INGENIERIA, 2019)

El funcionamiento básico de un viscosímetro capilar implica el paso del fluido a través de un tubo capilar estrecho y largo. La viscosidad del fluido afecta la velocidad a la que fluye a través del capilar. La viscosidad se calcula utilizando la ley de Poiseuille, que establece que el flujo de un líquido a través de un tubo es directamente proporcional a la diferencia de presión aplicada e inversamente proporcional a la longitud y al radio del tubo.

5.8 Viscosímetros de cuerpo móvil

Los viscosímetros de cuerpo móvil, también conocidos como viscosímetros de cilindro en caída o viscosímetros de Stokes, son dispositivos utilizados para medir la viscosidad de un líquido midiendo el tiempo que tarda un cuerpo cilíndrico en caer a través del líquido.

Figura 4

viscosímetro de cuerpo móvil

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



Nota: Tomado de (INSTRUMENTOS DE LABORATORIO, 2014),

www.instrumentosdelaboratorio.org

El principio de funcionamiento de estos viscosímetros se basa en la Ley de Stokes, que establece que la fuerza de arrastre experimentada por un cuerpo es proporcional a su velocidad y al coeficiente de viscosidad del fluido a través del cual se mueve.

En un viscosímetro de cuerpo móvil, el cilindro, que puede ser una esfera, un disco u otra forma adecuada, se suelta desde una posición inicial en la parte superior del líquido. A medida que el cilindro cae a través del líquido, experimenta una fuerza de arrastre debida a la viscosidad del fluido. La velocidad de caída del cilindro disminuye gradualmente a medida que la fuerza de arrastre aumenta hasta que alcanza un estado de equilibrio en el que la fuerza de arrastre es igual al peso del cilindro.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

El tiempo que tarda el cilindro en alcanzar este estado de equilibrio se utiliza para calcular la viscosidad del líquido utilizando la Ley de Stokes y la geometría del cilindro. Cuanto mayor sea el tiempo de caída, mayor será la viscosidad del líquido.

5.9 Viscosímetros rotacionales

Los viscosímetros rotacionales son dispositivos utilizados para medir la viscosidad de un fluido midiendo la resistencia al movimiento rotatorio de un elemento sumergido en el fluido. Estos viscosímetros son particularmente adecuados para una gran gama de viscosidades y se usan en industrias, desde la alimentaria y farmacéutica hasta la petroquímica y la cosmética.

Figura 5

Viscosímetro rotacional Rotavisc lo-vi



Nota: Tomado de (VIRESA, s.f.), www.viresa.com.mx

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

El principio de funcionamiento de los viscosímetros rotacionales se basa en la relación entre la viscosidad del fluido y la fuerza necesaria para hacer girar el elemento sumergido en él. Hay varios diseños de viscosímetros rotacionales, pero en general, implican un elemento giratorio, como un rotor o un vástago, que se sumerge en el fluido y se hace girar a una velocidad constante. La resistencia al movimiento del elemento rotatorio está relacionada con la viscosidad del fluido y se puede medir de diversas maneras. Por ejemplo, en un viscosímetro de copa, se mide la velocidad de rotación requerida para mantener la copa girando a una velocidad constante, mientras que, en un viscosímetro de husillo, se mide el par de torsión necesario para hacer girar el husillo a una velocidad constante

5.10 Ley de la viscosidad de newton

La Ley de la Viscosidad de Newton, también conocida como la Ley de Newton para el Esfuerzo Cortante o simplemente Ley de Newton, es un principio fundamental en la física de fluidos que describe la relación entre el esfuerzo cortante, la viscosidad y el gradiente de velocidad en un fluido. Fue formulada por Sir Isaac Newton en el siglo XVII y es fundamental para comprender el comportamiento de los fluidos en movimiento.

La Ley de la Viscosidad de Newton establece que el esfuerzo cortante (τ) entre capas adyacentes de un fluido es directamente proporcional al gradiente de velocidad (du/dy), donde du representa el cambio en la velocidad del fluido respecto a la dirección perpendicular (y) al flujo, y dy es la distancia entre las capas de fluido:

$$\tau = \mu * \left(\frac{du}{dy} \right)$$

En esta ecuación:

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

τ es el esfuerzo cortante, que es la fuerza por unidad de área necesaria para mantener un flujo laminar.

μ es la viscosidad del fluido, que es una medida de la resistencia del fluido al fluir.

(du/dy) es el gradiente de velocidad, que representa cómo cambia la velocidad del fluido en función de la distancia perpendicular al flujo.

La viscosidad, representada por el símbolo μ , es una propiedad intrínseca del fluido y puede variar con la temperatura y la presión. Los fluidos con viscosidades más altas exhiben una mayor resistencia al flujo y requieren un esfuerzo cortante mayor para mantener un flujo constante.

5.11 Composición de un lubricante

La composición de un lubricante puede variar según su tipo y su aplicación, pero generalmente consiste en una combinación de diferentes componentes que proporcionan propiedades de lubricación, protección contra el desgaste y estabilidad térmica. Aquí hay una descripción general de los principales componentes que se encuentran en muchos lubricantes:

- **Base Lubricante:** Es el componente principal del lubricante y puede ser de origen mineral, sintético o vegetal. Las bases minerales son derivadas del petróleo y pueden incluir aceites parafínicos, nafténicos o aromáticos. Las bases sintéticas se producen químicamente y pueden ser polialfaolefinas (PAO), ésteres sintéticos, poliglicoles, entre otros. Las bases vegetales provienen de fuentes renovables como aceites de soja, maíz o palma. La elección de la base lubricante depende de las características requeridas del lubricante, como la viscosidad, la estabilidad térmica y la resistencia a la oxidación.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

- Aditivos: Se agregan al lubricante para mejorar sus propiedades y rendimiento en condiciones específicas. Algunos aditivos comunes incluyen:
- Agentes anti desgaste: Reducen la fricción y el desgaste de las superficies metálicas en contacto, como los compuestos de azufre y fósforo.
- Antioxidantes: Protegen el lubricante contra la degradación oxidativa, prolongando así su vida útil.
- Agentes Antiespumantes: Evitan la formación de espuma, lo que puede reducir la capacidad de lubricación del fluido.
- Dispersantes y Detergentes: Mantienen limpio el sistema lubricado al dispersar los contaminantes y prevenir la formación de depósitos.
- Agentes de Viscosidad: Modifican la viscosidad del lubricante para adaptarse a diferentes condiciones de funcionamiento.
- Agentes de Extrema Presión (EP): Mejoran la resistencia del lubricante a cargas elevadas y altas presiones.
- Espesantes: Presentes en los lubricantes grasosos o lubricantes en pasta, los espesantes son sustancias que se utilizan para aumentar la viscosidad y la consistencia del lubricante, proporcionando una película lubricante más gruesa y duradera.
- Solventes: En algunos casos, se pueden agregar solventes para ayudar a disolver los aditivos y facilitar la aplicación del lubricante.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

5.12 Funciones de los lubricantes

Los lubricantes desempeñan diversas funciones cruciales para garantizar el funcionamiento eficiente y la protección de maquinarias y equipos en una amplia gama de aplicaciones industriales y mecánicas. Aquí están algunas de las funciones principales de los lubricantes:

- **Reducción de la Fricción:** La función más básica de un lubricante es reducir la fricción entre las superficies en movimiento. Al formar una película protectora entre las superficies metálicas, los lubricantes minimizan el contacto directo entre ellas, lo que disminuye la fricción y el desgaste.
- **Protección contra el Desgaste:** Los lubricantes ayudan a prevenir el desgaste prematuro de las partes móviles al actuar como una barrera entre las superficies de contacto. Esto es esencial para prolongar la vida útil de los componentes mecánicos y evitar costosas reparaciones o reemplazos.
- **Disipación de Calor:** Los lubricantes también ayudan a disipar el calor generado por la fricción y el movimiento de las piezas móviles. Al absorber y transportar el calor lejos de las zonas de fricción, los lubricantes contribuyen a mantener una temperatura óptima de funcionamiento y a prevenir el sobrecalentamiento de los equipos.
- **Sellado y Protección contra la Contaminación:** Los lubricantes ayudan a sellar y proteger las partes móviles del polvo, la suciedad, la humedad y otros contaminantes ambientales. Esto es especialmente importante en aplicaciones al aire libre o en entornos industriales donde las condiciones adversas pueden comprometer el rendimiento de los equipos.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

- **Prevención de la Corrosión:** Al formar una capa protectora sobre las superficies metálicas, los lubricantes ayudan a prevenir la corrosión causada por la exposición al aire, la humedad y otros agentes corrosivos. Esto es esencial para mantener la integridad estructural y funcional de los equipos a lo largo del tiempo.
- **Reducción del Ruido y Vibración:** Al amortiguar las vibraciones y reducir la fricción entre las piezas móviles, los lubricantes también pueden ayudar a reducir el ruido y la vibración generados por el funcionamiento de los equipos, lo que contribuye a un entorno de trabajo más silencioso y cómodo.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

6. Metodología Para La Implementación Del Viscosímetro

Este proyecto se enfoca en desarrollar un viscosímetro capaz de medir con precisión la viscosidad cinemática de los aceites lubricantes SAE (20W-50, 10W-40, 5W-40), Bajo los procedimientos descritos en la norma ASTM D445. Además de la construcción del dispositivo, se abordarán aspectos relacionados con la calibración, la validación de los resultados y la comparación con métodos estándar de medición de viscosidad.

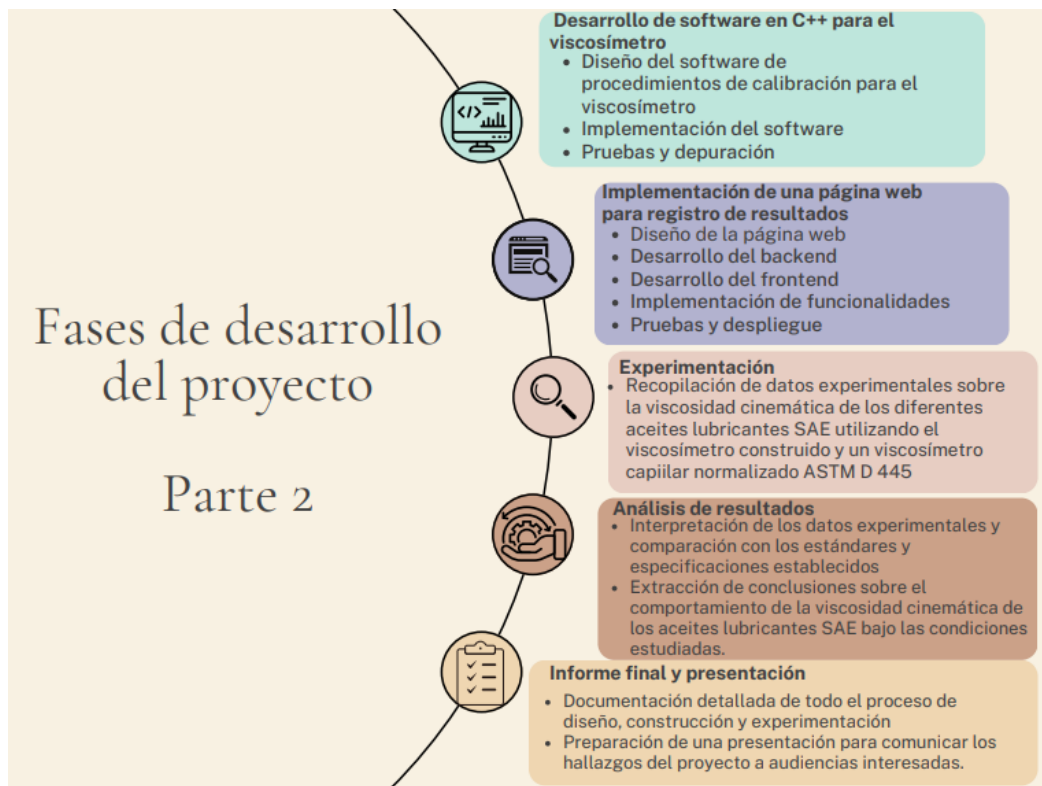
Figura 6

Fases de desarrollo del proyecto Parte 1



Nota: Fuente (Autores)

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Figura 7*Fases de desarrollo del proyecto Parte 2*

Nota: Fuente (Autores)

En este capítulo, se examinan minuciosamente los requisitos fundamentales a través de una exhaustiva revisión de la literatura. El objetivo es identificar una alternativa óptima basada en parámetros y especificaciones desarrolladas mediante métodos de análisis y síntesis para el concepto del Viscosímetro. Además, se emplea software CAD SolidWorks para el diseño, asegurando así la precisión y eficiencia en el proceso.

Diseñar la estructura que albergaría tanto los sensores de medición como el dispositivo para las muestras de aceite resultó un desafío considerable por la naturaleza del viscosímetro.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Esta elección conllevó la necesidad de una cuidadosa selección a través de un análisis, utilizando una matriz para comparar y evaluar las diversas alternativas disponibles. El objetivo era encontrar la opción que mejor se adaptara tanto al diseño requerido como al presupuesto establecido.

Dada la variabilidad en el diseño interno de la estructura en función de la alternativa de posicionamiento seleccionada, se tomó la decisión de utilizar la tecnología de impresión 3D para su fabricación. Esta elección se basó en su capacidad para crear estructuras con formas complejas y adaptadas a las necesidades específicas del viscosímetro, ofreciendo una solución práctica y eficiente. La impresión 3D proporcionó una manera rápida y rentable de producir la estructura necesaria, lo que permitió cumplir con los plazos de desarrollo del proyecto. La tecnología flexibilizó la iteración del diseño, lo que fue crucial para ajustar la estructura según avanzaba el proceso de desarrollo, superando los desafíos asociados al diseño de la estructura, garantizando su adaptabilidad y eficiencia respecto a las diferentes configuraciones del viscosímetro.

6.1 Alternativas de Diseños para el Viscosímetro

En la actualidad, se disponen de diversos métodos para medir la viscosidad, particularmente en el estudio del comportamiento de la viscosidad cinemática de aceites lubricantes SAE (20W 50, 10W 40, 5W 40). Para llevar a cabo estas mediciones de manera precisa y eficiente, es necesario contar con sistemas que garanticen el correcto funcionamiento del viscosímetro. Entre los componentes requeridos se encuentran:

1. Dispositivo mecánico de medición.
2. Motor de accionamiento.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

3. Pantalla para visualización de resultados.
4. Componentes de control y regulación.
5. Sistema de alimentación eléctrica.
6. Sensores para monitoreo.
7. Interfaz de usuario para interacción y ajustes.

La integración de estos elementos en el diseño del viscosímetro asegura mediciones precisas y confiables de la viscosidad cinemática de los aceites lubricantes en estudio. Esto proporciona información sobre cómo estos fluidos se comportan en diferentes condiciones ambientales y de uso, contribuyendo así a mejorar la comprensión y el rendimiento de los lubricantes en diversas aplicaciones industriales.

6.1.1 Alternativa 1.

Viscosímetro de Höppler, también conocido como viscosímetro de bola simple, se basa en el principio fundamental de la caída de una esfera a través de un líquido viscoso. Este dispositivo proporciona una forma eficaz de medir la viscosidad de varios líquidos y se puede implementar en una variedad de entornos industriales y de laboratorios.

El diseño del viscosímetro de Ostwald comprende varios componentes esenciales, incluida una esfera de tamaño específico, un tubo cilíndrico transparente lleno del líquido de prueba y un sistema de medición para registrar el tiempo de caída de la esfera. Es importante seleccionar cuidadosamente los materiales y dimensiones de estos componentes para garantizar mediciones precisas y reproducibles.

Figura 8

Viscosímetro de Höppler

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



Nota: Tomado de (INSTRUMENTOS DE LABORATORIO, 2014),

6.1.2 Alternativa 2.

El viscosímetro de Engler es un instrumento utilizado en la industria para determinar la viscosidad de líquidos, particularmente aceites y productos petrolíferos. Su diseño se basa en un orificio calibrado que permite el flujo controlado del líquido a través de él. Este orificio está cuidadosamente dimensionado y su precisión es fundamental para garantizar mediciones confiables. Además, el viscosímetro de Engler está equipado con un sistema de termostato para mantener la temperatura del líquido constante durante la medición, lo que asegura que los resultados sean consistentes y comparables. El proceso de medición implica cronometrar el tiempo que tarda el líquido en pasar por el orificio. Posteriormente, este tiempo se compara con el tiempo de flujo de agua destilada a la misma temperatura, permitiendo así calcular un valor de viscosidad relativa conocido como "grado Engler".

Figura 9

Viscosímetro de Engler

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



Nota: Tomado de (Serve Real Instruments, 2019), <http://www.equipos-de-ensayo.com>

6.1.3 Alternativa 3.

El viscosímetro de Saybolt Furol es un dispositivo ampliamente utilizado en diversas industrias para medir la viscosidad de líquidos, especialmente aceites y productos derivados del petróleo. Su funcionamiento se basa en un principio simple pero efectivo: el líquido se calienta a una temperatura específica y luego se hace fluir a través de un orificio estandarizado. El tiempo que tarda en pasar por este orificio se utiliza para determinar su viscosidad.

Una de las principales ventajas del viscosímetro de Saybolt Furol es su rapidez de ejecución. Permite obtener resultados de viscosidad en un corto período de tiempo, lo que es crucial en entornos industriales donde la eficiencia es fundamental. Además, su diseño relativamente simple lo hace fácil de operar y mantener, lo que lo convierte en una herramienta práctica tanto para laboratorios como para plantas de producción.

Figura 10

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Viscosímetro de Saybolt Furol



Nota: Tomado de (UTEST MATERIAL TESTING EQUIPMENT, 2016), www.utest.com

6.2 Selección de Alternativa

La actividad realizada consistió en comparar tres tipos de viscosímetros: el viscosímetro de Höppler, el viscosímetro de Engler y el viscosímetro de Saybolt Furol. Para cada uno de estos viscosímetros, se asignaron valores del 1 al 5 en cuatro categorías diferentes: versatilidad en la medición de viscosidades, precisión y fiabilidad, facilidad de uso y mantenimiento, y disponibilidad y costos.

Estas categorías fueron seleccionadas para evaluar diferentes aspectos importantes de los viscosímetros, desde su capacidad para medir una amplia gama de viscosidades hasta su facilidad de mantenimiento y su accesibilidad en términos de disponibilidad y costos. Al asignar valores a cada viscosímetro en cada categoría, se pudo realizar una comparación más detallada y equilibrada entre ellos, lo que ayuda a tomar decisiones informadas al elegir el viscosímetro más adecuado para una aplicación específica.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Figura 11*Selección de alternativas*

	VERSATILIDAD EN LA MEDICIÓN DE VISCOSIDADES	PRECISIÓN Y FIABILIDAD	FACILIDAD DE USO Y MANTENIMIENTO	DISPONIBILIDAD Y COSTOS
VISCOSÍMETRO DE HOPPLER	3	4	4	4
VISCOSÍMETRO DE ENGLER	2	3	3	2
VISCOSÍMETRO DE SAYBOLT FUROL	4	4	3	3
Leyenda de los valores asignados a las funcionalidades: 1: No cumple 2: Medianamente no cumple 3: Moderadamente cumple 4: Cumple 5: Cumple a conformidad				

Nota: Fuente (Autores)

El viscosímetro de Höppler es la mejor opción por su versatilidad, precisión y facilidad de uso en aplicaciones industriales y de laboratorio. Al considerar varios criterios de selección, se destacan las siguientes razones para elegir el viscosímetro de Höppler sobre el viscosímetro de Saybolt Furol y el viscosímetro de Engler:

1. **Versatilidad en la medición de viscosidades:** El viscosímetro de Höppler puede medir viscosidades en muchos líquidos, ideal para diversas aplicaciones. A diferencia del viscosímetro de Saybolt Furol, que está más limitado en términos de tipos de líquidos que puede medir, y del viscosímetro de Engler, que está diseñado principalmente para aceites y productos petrolíferos, el viscosímetro de Höppler ofrece una mayor flexibilidad.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

2. **Precisión y fiabilidad:** El viscosímetro de Höppler tiende a proporcionar mediciones precisas y reproducibles, lo que lo hace adecuado para aplicaciones donde se requiere alta precisión en la medición de viscosidad. Aunque el viscosímetro de Engler también ofrece precisión, el viscosímetro de Höppler es más versátil y puede adaptarse a una variedad más amplia de líquidos. Por otro lado, el viscosímetro de Saybolt Furol puede no ofrecer la misma precisión que el viscosímetro de Höppler, especialmente en líquidos con viscosidades extremas.
3. **Facilidad de uso y mantenimiento:** El diseño simple del viscosímetro de Höppler lo hace fácil de operar y mantener, lo que puede resultar en menores costos de capacitación y mantenimiento en comparación con el viscosímetro de Engler.
4. **Disponibilidad y costos:** El viscosímetro de Höppler es ampliamente utilizado y está disponible comercialmente a un costo razonable en comparación con el viscosímetro de Engler, que puede ser más costoso de adquirir y mantener debido a su diseño y requerimientos técnicos específicos. Aunque el viscosímetro de Saybolt Furol puede ser más económico, su limitada versatilidad y precisión pueden hacer que no sea la mejor opción en todas las aplicaciones.

El viscosímetro de Höppler destaca como la mejor opción debido a su versatilidad, precisión, facilidad de uso y aplicaciones. Al ofrecer mediciones precisas y reproducibles en líquidos, el viscosímetro de Höppler es una herramienta indispensable en entornos industriales y de laboratorio donde la medición precisa de la viscosidad es fundamental para garantizar la calidad y eficiencia de los procesos.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

7. Implementación y Construcción

7.1 Implementación Mecánica Del Sistema

a continuación, se realiza el proceso de selección de componentes utilizados en la construcción del prototipo, para ello se hace uso de una matriz QFD (función de calidad), con la finalidad de analizar cada requerimiento técnico del viscosímetro.

7.1.1 *Matriz QFD aplicada a la manufactura*

El objetivo de esta matriz QFD es seleccionar la opción de manufactura más conveniente para la construcción del prototipo, las alternativas que se consideraron para estos procesos fueron el termoformado, el mecanizado CNC y la manufactura aditiva, destacando que se busca garantizar el bajo costo como el requisito más importante en el proceso de selección.

Figura 12

Matriz QFD aplicada a la manufactura

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



Nota: Fuente (Autores)

Se concluye que la manufactura aditiva es el método de construcción más apropiado ya que cumple con los requisitos especificados.

7.1.2 Matriz QFD aplicada al material de la manufactura aditiva

Una vez seleccionada la manufactura aditiva, el siguiente paso es seleccionar el tipo de material específico, entre las opciones se contemplan el PLA, ABS y el PETG, para esta selección se tendrán en cuenta requisitos como la seguridad y la disponibilidad.

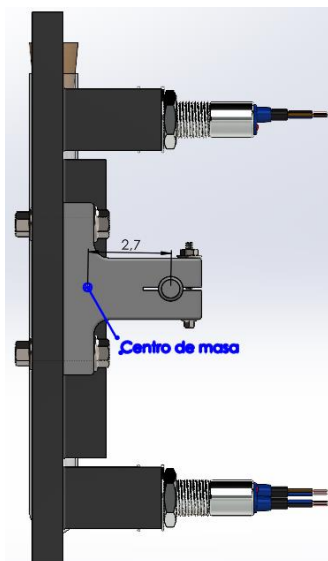
Figura 13

Matriz QFD aplicada al material de la manufactura aditiva

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Cálculo del torque estático

El torque estático máximo se logra cuando la plataforma se encuentra a 90°



Masa total del sistema es de 1.2 Kg contemplando la masa de las probetas y los aceites

El centro de masa se encuentra a una distancia de 2.7 cm del centro del eje

Aplicando la formula de $\tau = F \cdot D$ se obtiene

$$\tau = 11.772 \text{ (N)} \cdot 0.027 \text{ (m)} = 0.317 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

Convirtiendo de (N*m) (Kg*cm)

$$\tau = 3.2 \text{ (Kg} \cdot \text{cm)}$$

Cálculo del torque dinámico

Para el cálculo del torque dinámico se aplica la siguiente formula $\tau = I \cdot \alpha$

Momentos de inercia: (gramos * centímetros cuadrados)

Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados. (Usando notación tensorial positiva.)

Lxx = 19241.43	Lxy = -2.47	Lxz = 18.23
Lyx = -2.47	Lyy = 10873.92	Lyz = 198.09
Lzx = 18.23	Lzy = 198.09	Lzz = 25078.19

Donde el momento de inercia obtenido de SolidWorks es de 25078.19 g*cm²

- Voltaje de operación: 4.8Vdc a 6.6Vdc.
- Par: 9.4kg/cm (4.8v); 11kg/cm (6v).
- Velocidad de giro: 0.20seg/60grados (4.8v); 0.16seg/60grados (6.0v).
- Rango de temperatura de operación: 0°C a +55°C.
- Consumo de corriente de reposo: 10mA.
- Consumo de corriente en funcionamiento sin carga: 170mA.
- Consumo de corriente en funcionamiento con carga: 1200mA.
- Dimensiones: 40.7×19.7×42.9mm.
- Peso: 55gr.
- Fabricante: Tower Pro.

Según datos del datasheet la velocidad de giro del servomotor es de 0.2 seg /60°

Por tanto tenemos que para recorrer 180° le toma 0.6 seg

Podemos decir que $\omega = \pi / 0.6$

$$\alpha = \pi / (0.6 \cdot 0.05) = 104.71 \text{ (rad/seg}^2\text{)}$$

Convirtiendo el momento de inercia de 25078.19 (g*cm²) a 0.002507 (kg*m²)

$$\tau = 0.002507 \text{ (kg} \cdot \text{m}^2\text{)} \cdot 104.71 \text{ (rad/seg}^2\text{)}$$

$$\tau = 0.262 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

Convirtiendo de (N*m) (Kg*cm)

$$\tau = 2.67 \text{ (kg} \cdot \text{cm)}$$

Para obtener α dividimos la velocidad angular entre el tiempo que para este caso es de 0.05 seg

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Nota: Fuente (Autores)

Los resultados obtenidos en la suma de los torques requeridos por el sistema son de 5.87 Kg*Cm, con este valor ya se puede seleccionar el material para el eje, en ese caso se consideraron tres opciones las cuales son acero AISI 1020, acero AISI 1045 y aluminio.

Figura 15

Matriz QFD aplicada al material para los ejes



Nota: Fuente (Autores)

Según los resultados de la matriz QFD la opción que se acomoda mejor a los requerimientos del sistema es el aluminio.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

7.1.4 Matriz QFD Aplicada a Tipo de Actuador

Ya con los anteriores elementos seleccionados, continuamos con la elección del actuador que mejor se ajuste a los requerimientos, tenemos las siguientes opciones, servomotores, motorreductores y motores paso a paso, en esta selección se tomó como criterio de selección la controlabilidad y la relación peso torque.

Figura 16

Matriz QFD aplicada al actuador



Nota: Fuente (Autores)

Según los resultados obtenidos el servomotor es la opción que mejor cumple los requerimientos, como el torque requerido por el sistema es de 5.87 kg*Cm el servo motor debe contar un torque superior, además existe una limitante y es la tensión eléctrica, esta no puede ser mayor a 5V

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

debido a que el sistema completo debe trabajar con solo la tensión proporcionada por el puerto USB de un computador.

Figura 17

Servo motor seleccionado



Características

- Voltaje de operación: 4.8Vdc a 6.6Vdc.
- Par: 9.4kg/cm (4.8v); 11kg/cm (6v).
- Velocidad de giro: 0.20seg/60grados (4.8v); 0.16seg/60grados (6.0v).
- Rango de temperatura de operación: 0°C a +55°C.
- Consumo de corriente de reposo: 10mA.
- Consumo de corriente en funcionamiento sin carga: 170mA.
- Consumo de corriente en funcionamiento con carga: 1200mA.
- Dimensiones: 40.7×19.7×42.9mm.
- Peso: 55gr.
- Fabricante: Tower Pro.

Nota : Tomado de (Dualtronica, 2016)

Como podemos observar el servomotor seleccionado cumple con los requerimientos de tensión y torque del sistema.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

7.1.5 Matriz QFD Aplicada al Control

Finalmente, para determinar la opción de software y hardware que mejor se adaptara se establecieron los siguientes requerimientos, comunicación, precisión, costo computacional y tecnología disponible.

Figura 18

Matriz QFD aplicada al software y hardware



Nota: Fuente (Autores)

Según los resultados obtenidos de la matriz QFD, la opción óptima para el control del prototipo de viscosímetro es el software y hardware de Arduino.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

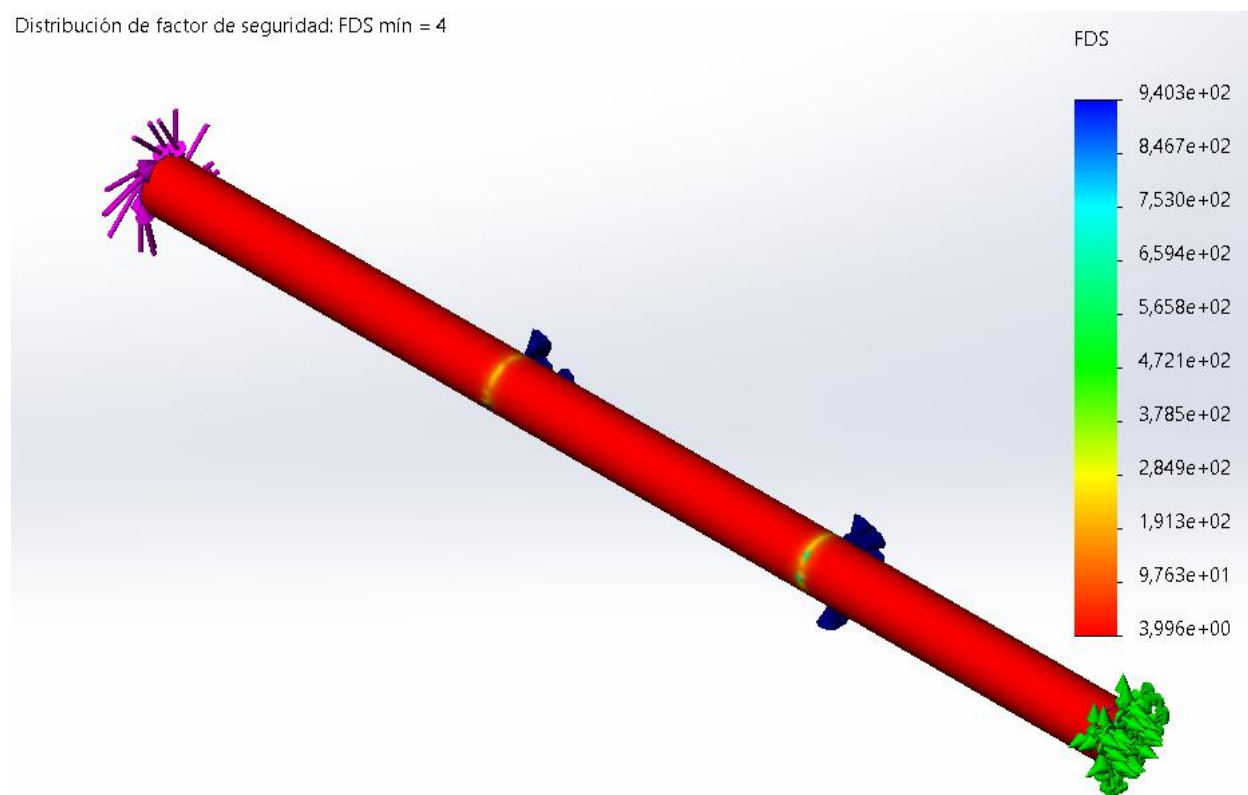
7.1.6 *Análisis de elementos finitos para el eje*

En la selección de componentes para la construcción del viscosímetro se optó por usar chumaceras KP08, ya que eran con las únicas que se encontraban disponibles, en el mercado lo cual nos limita el diámetro del eje a 8mm, medida con la cual se realizado un análisis de elementos finitos para verificar que tanto el diseño como el material fueran seguros.

Figura 19

Aplicación de análisis de elementos finitos al eje

Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 4



Nota: Fuente (Autores)

Una vez finalizado el análisis de elementos finitos se verificó que el diseño y material del eje son seguros, dando un factor de seguridad de 4.

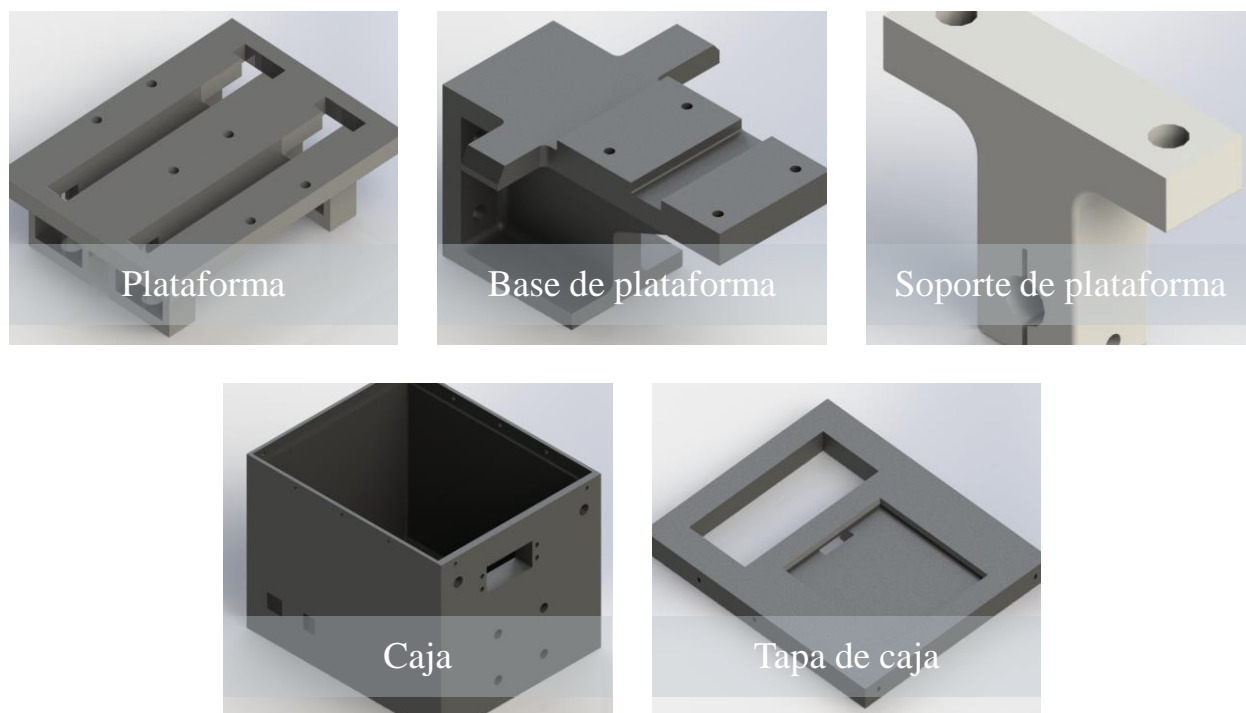
IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

7.1.7 Diseño en SolidWorks de los componentes

Una vez seleccionados el tipo de manufactura y el material para usar en la construcción del prototipo de viscosímetro se plantean los siguientes modelos CAD, los cuales posteriormente serán impresos.

Figura 20

Modelos CAD del prototipo de viscosímetro



Nota: Fuente (Autores)

7.2 Diseño Electrónico del Sistema

Se emplea un código basado en el lenguaje C++ con el propósito de controlar un dispositivo de medición de viscosidad comparativa de aceites. Utiliza componentes como una pantalla LCD, un teclado matricial, sensores de inicio y fin de recorrido, y un servo motor para manipular una plataforma donde se colocan las muestras de aceite.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

El funcionamiento del dispositivo se basa en la comparación de los tiempos que tardan esferas en recorrer una distancia determinada a través de diferentes tipos de aceites. Estos tiempos se utilizan para calcular la viscosidad de los aceites en relación con una densidad de referencia.

El programa guía al usuario a través de un proceso que incluye la selección del tipo de aceite, la calibración del dispositivo, la toma de datos y el cálculo de la viscosidad dinámica y cinemática de las muestras de aceite.

Se implementan funciones para mostrar mensajes en la pantalla LCD, leer las teclas presionadas en el teclado matricial, controlar el movimiento del servo motor para calibrar la plataforma, y calcular los tiempos y viscosidades de las muestras de aceite.

Este código proporciona una base sólida para la implementación de un dispositivo de medición de viscosidad comparativa de aceites, ofreciendo una interfaz de usuario clara y funciones de control precisas para garantizar mediciones precisas y repetibles, se listan las funcionalidades principales del código.

7.2.1. Partes principales del código y su función general

7.2.1.1 Librerías incluidas.

- Wire.h: Para la comunicación I2C.
- LiquidCrystal_I2C.h: Para controlar una pantalla LCD mediante la interfaz I2C.
- Key.h y Keypad.h: Para manejar la entrada de un teclado matricial.
- Servo.h: Para controlar un servo motor.

7.2.1.2 Declaración de objetos y variables globales.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

- Se declara un objeto Servo llamado Servo_1.
- Se instancia un objeto LiquidCrystal_I2C llamado lcd.
- Se definen matrices y arreglos para configurar el teclado matricial y se declaran variables para almacenar valores utilizados en el programa.

7.2.1.3 Función setup().

- Se establece la velocidad de comunicación serie.
- Se inicializa la pantalla LCD y se activa la retroiluminación.
- Se configuran los pines utilizados para los sensores.

7.2.1.4 Función loop (). Se llama a una serie de funciones en secuencia para realizar diversas tareas, incluida la bienvenida al usuario, la selección de tipos de aceite, la calibración del dispositivo, y la toma y procesamiento de datos de viscosidad.

7.2.1.5 Funciones auxiliares.

- bienvenida (): Muestra un mensaje de bienvenida en la pantalla LCD.
- menu_0(): Muestra un menú de selección de tipos de aceite en la pantalla LCD.
- teclado4x4(char tecla): Lee la tecla presionada en el teclado matricial.
- densidad (char tecla): Asigna un valor de densidad predeterminado según el tipo de aceite seleccionado.
- msjProvetas (): Muestra un mensaje en la pantalla LCD indicando al usuario que coloque las probetas en el dispositivo.
- calibrar (): Calibra el dispositivo, asegurándose de que las esferas estén en la posición inicial correcta.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

- tomar Datos (): Realiza la toma de datos de viscosidad comparativa.

7.2.1.6 Funciones para controlar el servo motor.

- giro derecho (int angulo, int dly): Gira el servo motor hacia la derecha hasta el ángulo especificado con un retraso dado.
- giro izquierdo (int angulo, int dly): Gira el servo motor hacia la izquierda hasta el ángulo especificado con un retraso dado.

7.2.2 Especificaciones de los componentes electrónicos

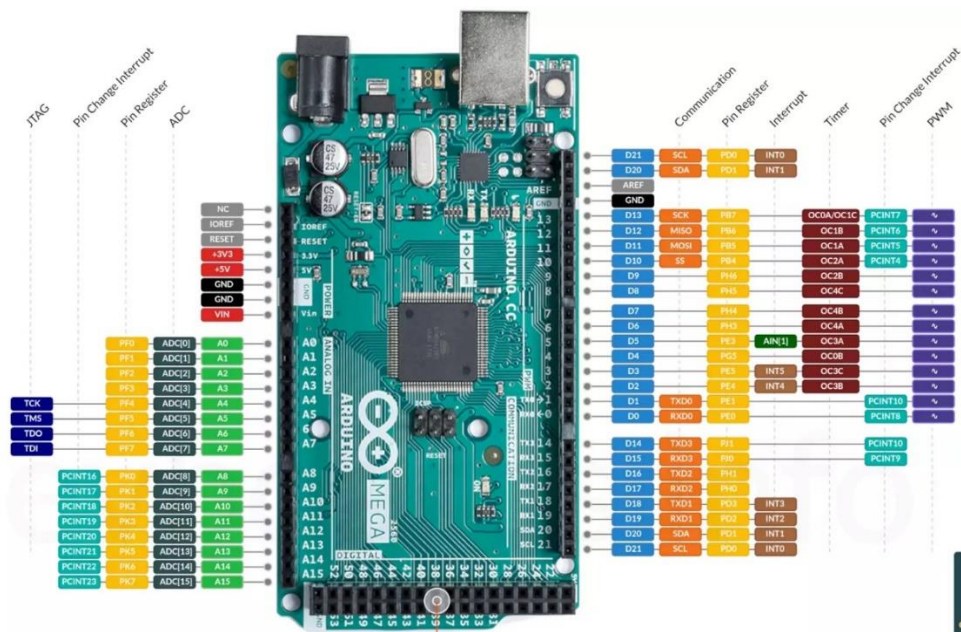
7.2.2.1 Arduino MEGA 2560.

El Arduino Mega 2560 es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega2560. Ofrece 54 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 15 pueden ser utilizados como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie hardware), un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, una toma de corriente, un conector ICSP y un botón de reinicio. Además, tiene 256 KB de memoria flash para almacenar programas, 8 KB de SRAM y 4 KB de EEPROM para datos temporales y permanentes respectivamente, ideal para proyectos complejos que requieren entradas/salidas y memoria.

Figura 21

Imagen de referencia de Arduino MEGA 2560

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



Nota: Tomado de (Lista de tableros, 2023), www.devboards.info

7.2.2.2 Módulo conversor I2C.

El módulo conversor I2C es un dispositivo que facilita la comunicación entre microcontroladores u otros dispositivos con interfaz I2C y componentes que no son compatibles directamente con este protocolo. Estos módulos suelen incluir circuitos integrados como el PCF8574, que actúan como un puente entre el bus I2C y los periféricos externos, permitiendo la expansión de entradas/salidas digitales o la conexión de sensores y otros dispositivos. Además, suelen ofrecer características como ajuste de direcciones I2C mediante jumpers o configuración de niveles de voltaje para una mayor flexibilidad en su aplicación.

Figura 22

Imagen de referencia de Módulo conversor I2C

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



Nota: Tomado de (Tecnopura, 2017), www.tecnopura.com

7.2.2.3 Pantalla LCD 20x04.

La pantalla LCD 20x04 es un tipo de pantalla de cristal líquido que muestra 20 caracteres por 4 líneas de texto, lo que permite una visualización de información más amplia que las pantallas LCD más pequeñas. Estas pantallas son compatibles con controladores estándar como el HD44780, lo que facilita su integración con microcontroladores como Arduino y Raspberry Pi. Por lo general, cuentan con retroiluminación LED para mejorar la legibilidad en condiciones de poca luz y pueden ser utilizadas en una variedad de aplicaciones, como la visualización de datos de sensores, mensajes de estado o información de menús en proyectos electrónicos y de automatización.

Figura 23

*Imagen de referencia de Pantalla LCD 20*04*

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



Nota: Tomado de (Mercado libre, 2020) www.articulo.mercadolibre.com.co

7.2.2.4 Teclado matricial 4x4 tipo membrana.

Un teclado matricial 4x4 tipo membrana es un dispositivo de entrada que consta de 16 teclas dispuestas en una matriz de 4 filas y 4 columnas, lo que permite una interfaz compacta y eficiente. Cada tecla está conectada a una intersección específica de una fila y una columna, y mediante el escaneo secuencial de estas filas y columnas, un microcontrolador puede determinar qué tecla ha sido presionada. Estos teclados generalmente se utilizan en aplicaciones donde se requiere una entrada de usuario simple, como sistemas de control de acceso, paneles de control, sistemas de alarma, entre otros. Son económicos, fáciles de usar y se integran bien con una variedad de microcontroladores y sistemas embebidos.

Figura 24

*Imagen de referencia de Teclado matricial 4*4 tipo membrana*



Nota: Tomado de (Dualtronica, 2016) www.dualtronica.com

7.2.2.5 Sensor de proximidad Inductivo LJ12A3-4-Z/BX.

El sensor de proximidad inductivo LJ12A3-4-Z/BX es un dispositivo utilizado para detectar la presencia de objetos metálicos sin contacto físico. Opera mediante el principio de inducción electromagnética, generando un campo magnético de alta frecuencia que se ve afectado por la presencia de materiales conductores como metales. Este sensor está diseñado para detectar hasta 4 mm y puede utilizarse en aplicaciones industriales y de automatización, como la detección de piezas en líneas de producción, control de acceso, sistemas de seguridad, entre otros. Ofrece un alto grado de fiabilidad y resistencia en entornos industriales, con una construcción robusta y una salida de tipo NPN normalmente abierta.

Figura 25

Imagen de referencia de sensor de proximidad Inductivo LJ12A3-4-Z/BX

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



Nota: Tomado de (Vistronica, 2021) www.vistronica.com

7.2.2.6 Adaptador corriente alterna (ac)/ corriente directa (dc).

Un adaptador de corriente alterna (AC) a corriente directa (DC), también conocido como fuente de alimentación o transformador de corriente, es un dispositivo electrónico que convierte la corriente alterna de la toma de corriente doméstica en corriente continua utilizada por muchos dispositivos electrónicos. Estos adaptadores están diseñados para proporcionar una salida de voltaje y corriente específicos requeridos por el dispositivo que se alimenta. Por lo general, constan de un enchufe de CA para conectarse a la toma de corriente, un transformador para convertir la corriente alterna en corriente continua y un regulador de voltaje para ajustar la salida a los niveles necesarios. Son ampliamente utilizados para alimentar dispositivos electrónicos como ordenadores portátiles, teléfonos móviles, routers, entre otros.

Figura 26

Imagen de referencia de adaptador de corriente alterna a/c corriente directa d/c

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



Nota: Tomado de (Vistronica, 2021) www.vistronica.com

7.2.2.7 Servo motor MG995.

El servo motor MG995 es un motor usado en aplicaciones de modelismo, robótica y control de sistemas. Este servo motor es conocido por su alto torque y su amplio rango de movimiento angular, lo que lo hace adecuado para una variedad de proyectos. El MG995 suele operar con una tensión de alimentación de 4.8 a 6 voltios y puede girar hasta 180 grados. Además, es capaz de proporcionar un torque de hasta 9 kg/cm a 6V, lo que lo convierte en una opción robusta para aplicaciones que requieren fuerza y precisión en el control de movimiento. Este servo motor también cuenta con un conector estándar de tres pines (alimentación, tierra y señal) para facilitar su conexión con placas de control como Arduino o Raspberry Pi. El MG995 puede consumir una corriente considerable durante el funcionamiento, así que es importante asegurarse de que la fuente de alimentación pueda suministrar la corriente necesaria para su operación adecuada.

Figura 27

Imagen de referencia de Servo motor MG995

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



Nota: Tomado de (Electronilab, 2017) www.electronilab.co

7.2.2.8 Termómetro digital.

Un termómetro digital es un dispositivo electrónico utilizado para medir la temperatura de manera precisa y rápida. Utiliza sensores de temperatura como termistores, termopares o sensores de estado sólido para detectar cambios en la temperatura ambiente o de un objeto específico. Estos dispositivos suelen mostrar la temperatura en una pantalla digital, lo que facilita la lectura y la precisión de la medición. Algunos termómetros digitales también pueden incluir características adicionales, como alarmas de temperatura, capacidad de almacenamiento de datos, conexión a computadoras o dispositivos móviles para el registro y análisis de datos, y opciones de calibración. Se usan en entornos médicos, industriales, domésticos y de laboratorio por su facilidad de uso y precisión.

Figura 28

Imagen de referencia de Termómetro digital

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



Nota: Tomado de (Falabella, 2021) www.falabella.com.co

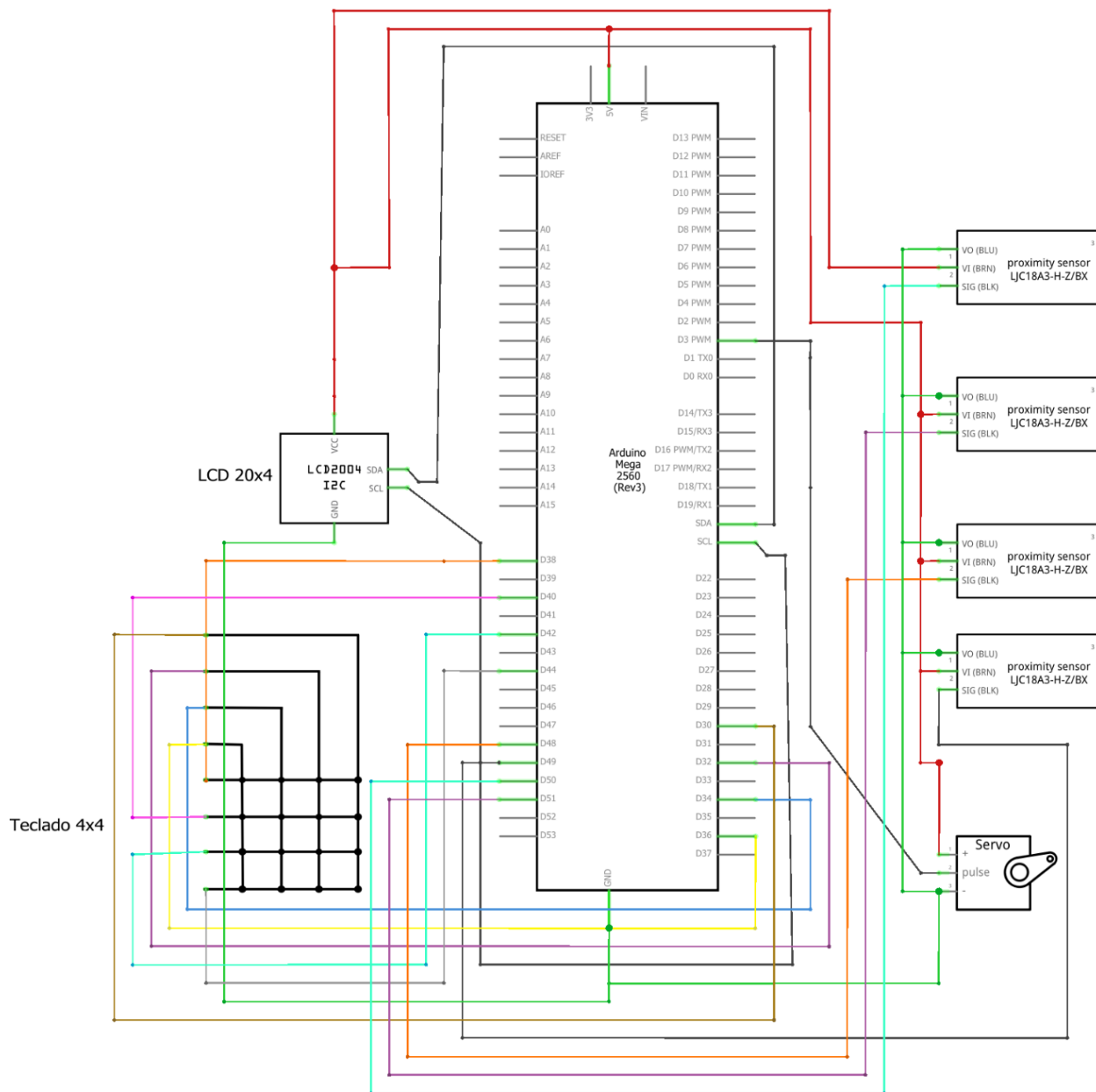
7.2.3 Diagrama de conexión de los componentes electrónicos

A continuación, se presenta el diagrama esquemático de conexiones de los componentes internos del viscosímetro.

Figura 29

Diagrama esquemático de conexiones

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

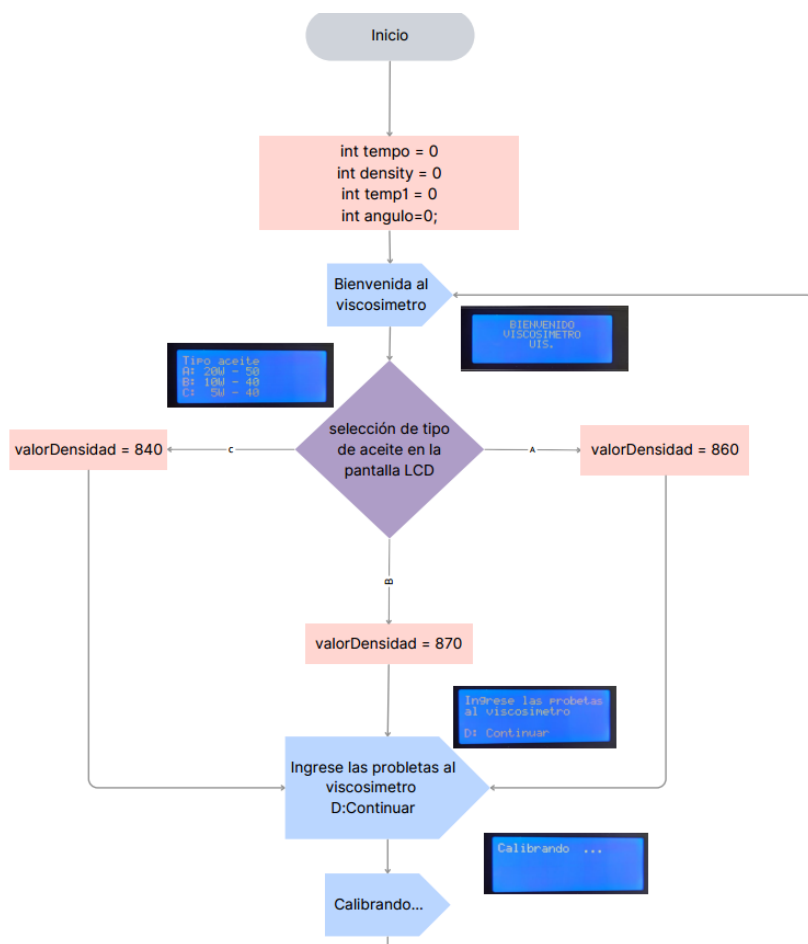


Nota: Fuente (Autores)

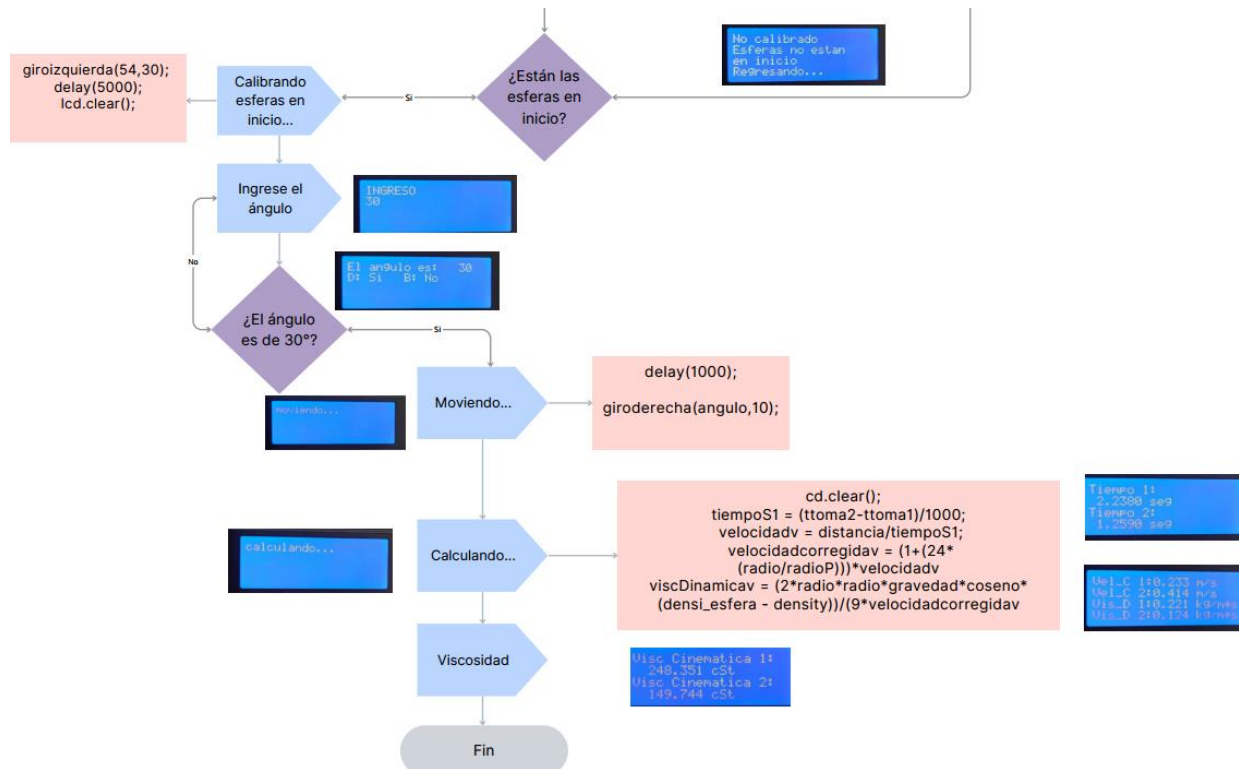
7.2.4 Diagrama de conexión de los componentes electrónicos

El viscosímetro está implementado para ser controlado de manera local, cuenta con una pantalla LCD donde se pueden observar los mensajes de interacción. Para asegurar su operatividad adecuada, es esencial tener presente que, para proceder, es necesario activar la tecla señalada en la pantalla o, en ciertos casos, la letra D.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Figura 30*Diagrama de flujo de la pantalla LCD*

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



Nota: Fuente (Autores)

7.3 Diseño Informático Del Sistema

Una página web alojada en 000Webhost que utiliza archivos y una base de datos en phpMyAdmin podría tener la siguiente estructura y funcionamiento:

7.3.1 Componentes de la página web

7.3.1.1 Log in.

Cuando un usuario llega a una página web que requiere inicio de sesión, generalmente se le presenta un formulario de inicio de sesión. Este formulario suele constar de dos campos obligatorios: uno para ingresar el nombre de usuario o correo electrónico y otro para la contraseña.

Figura 31

Inicio de sesión Pagina web desarrollada

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



Nota: Fuente (Autores)

7.3.1.2. Archivos.

Estos archivos contienen el código que define la lógica y la interfaz de usuario de la página web. Pueden incluir scripts para la autenticación de usuarios, la creación de perfiles, la gestión de datos y la generación de gráficos.

Figura 32

Repositorio de archivos de la página web desarrollada

000webhost powered by HOSTINGER viscometro777 > public_html Go Premium				
	Name ▼	Size	Date	Permissions
public_html	ajax		2023-12-07 19:24:00	drwxr-xr-x
	config		2023-12-07 19:24:00	drwxr-xr-x
	files		2023-12-07 19:24:00	drwxr-xr-x
	modelos		2023-12-07 19:24:00	drwxr-xr-x
	public		2023-12-07 19:25:00	drwxr-xr-x
	vistas		2023-12-07 19:25:00	drwxr-xr-x
	.htaccess	0.1 kB	2023-12-07 19:24:00	-rw-r--r--
	index.php	0.2 kB	2023-12-07 19:24:00	-rw-r--r--

Nota: Fuente (Autores)

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

7.3.1.3 Base de datos MySQL (phpMyAdmin).

La base de datos almacena la información utilizada por la aplicación web. Puede contener tablas para almacenar datos de usuarios, tipos de usuario, registros, y cualquier otra información relevante. phpMyAdmin es una herramienta de administración de bases de datos MySQL que facilita la creación, gestión y manipulación de esta base de datos a través de una interfaz web.

Figura 33

Base de datos de la página web desarrollada

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a MySQL database named 'id21638413_viscosimetro'. The left sidebar shows the database structure with tables: departamento, registro, tipousuario, and usuarios. The main area displays a table list with columns: Tabla, Acción, Filas, Tipo, Cotejamiento, Tamaño, and Residuo a depurar.

Tabla	Acción	Filas	Tipo	Cotejamiento	Tamaño	Residuo a depurar
departamento	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	2	InnoDB	utf8_bin	32.0 KB	-
registro	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	2	InnoDB	utf8_bin	16.0 KB	-
tipousuario	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	2	InnoDB	utf8_bin	16.0 KB	-
usuarios	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	2	InnoDB	utf8_bin	80.0 KB	-
4 tablas	Número de filas	8	InnoDB	utf8_unicode_ci	144.0 KB	0 B

Nota: Fuente (Autores)

7.3.2 Funcionalidades de la página web

7.3.2.1 Registro de usuarios.

Los usuarios pueden crear cuentas proporcionando información como nombre de usuario, correo electrónico y contraseña. Esta información se almacenaría en la base de datos después de validarla.

Figura 34

Registro de usuarios en la página web desarrollada

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Usuarios

Tipo usuario(*):

Departamento(*):

Nombre(*):

Apellidos(*):

Email:

Login(*):

Clave de ingreso(*):

Clave de asistencia(*):

Imagen:

Nota: Fuente (Autores)

7.3.2.2 Selección de tipo de usuario.

En el registro, los usuarios pueden seleccionar el tipo de cuenta que desean tener (por ejemplo, usuario regular, administrador, etc.). Esta información también se almacenaría en la base de datos y podría influir en las funcionalidades disponibles para cada usuario.

Figura 35

Selección de tipo de usuario en la página web desarrollada

Tipo usuario(*):

- seleccione...
- Administrador
- Usuario

Nota: Fuente (Autores)

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

7.3.2.3 Gestión de registros.

Los usuarios pueden realizar registros, estos registros se procesan mediante scripts PHP y se almacenan en la base de datos.

Figura 36

Formulario de registro de viscosidad en la página web desarrollada

Registro de viscosidad

Equipo(*): <input type="text" value="Equipo"/>	Código del equipo(*): <input type="text" value="Código del equipo"/>
Código de la muestra(*): <input type="text" value="Código de la muestra"/>	Fecha: <input type="text" value="dd/mm/aaaa"/>
Punto de muestreo: <input type="text" value="Punto de muestreo"/>	Responsable: <input type="text" value="Responsable"/>
Viscosidad: <input type="text" value="Viscosidad"/>	Viscosidad de aceite virgen: <input type="text" value="Viscosidad de aceite virgen"/>
Tipo de lubricante: <input type="text" value="Tipo de lubricante"/>	Fabricante: <input type="text" value="Fabricante"/>
Número de horas: <input type="text" value="Número de horas"/>	

Nota: Fuente (Autores)

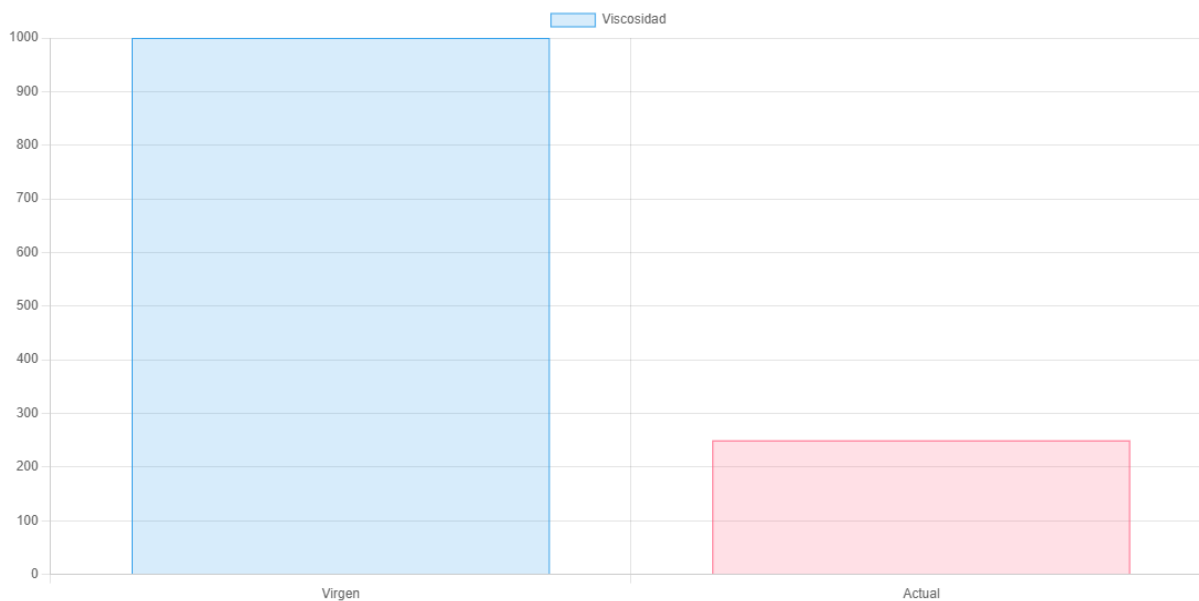
7.3.2.4 Generación de gráficos.

La página web puede incluir funcionalidades para generar gráficos basados en los datos almacenados en la base de datos. Comparando la viscosidad virgen con la viscosidad luego de un periodo de tiempo (Horas definidas en el formulario de registro).

Figura 37

Gráficas generadas por la acción del botón graficar en la página web desarrollada

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



Nota: Fuente (Autores)

La página web alojada en 000Webhost que utiliza una base de datos en phpMyAdmin puede ofrecer una amplia gama de funcionalidades, desde la gestión de usuarios hasta la generación de gráficos basados en datos almacenados en la base de datos, todo ello mediante la interacción entre archivos PHP y consultas a la base de datos MySQL.

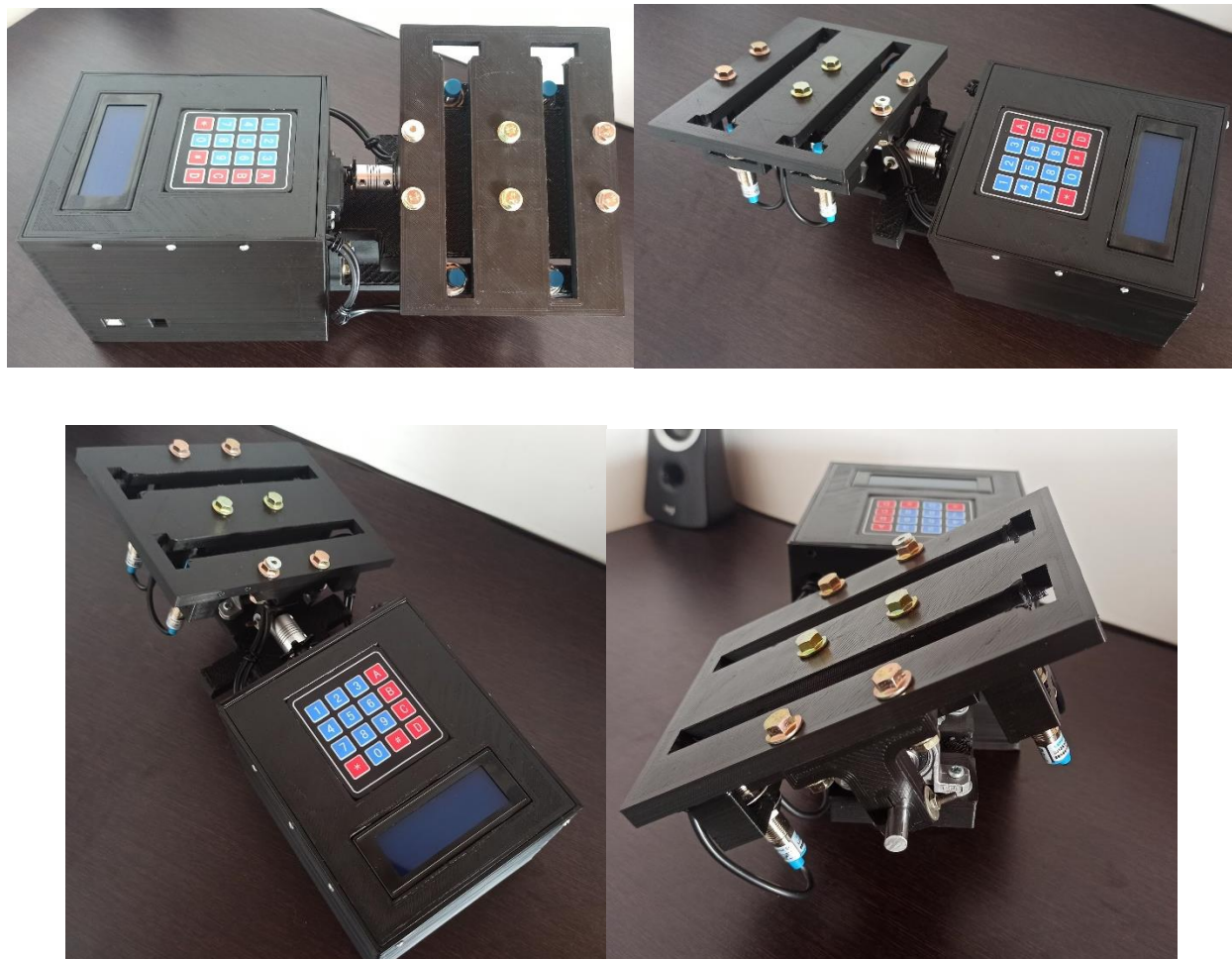
7.4 Impresión 3D De Las Piezas y Construcción Del Viscosímetro

Una vez finalizado los modelos 3D de las piezas del viscosímetro, la selección de componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos se procedió a armar y verificar el correcto funcionamiento del equipo, a continuación, se presenta el viscosímetro finalizado.

Figura 38

Viscosímetro finalizado

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



Nota: Fuente (Autores)

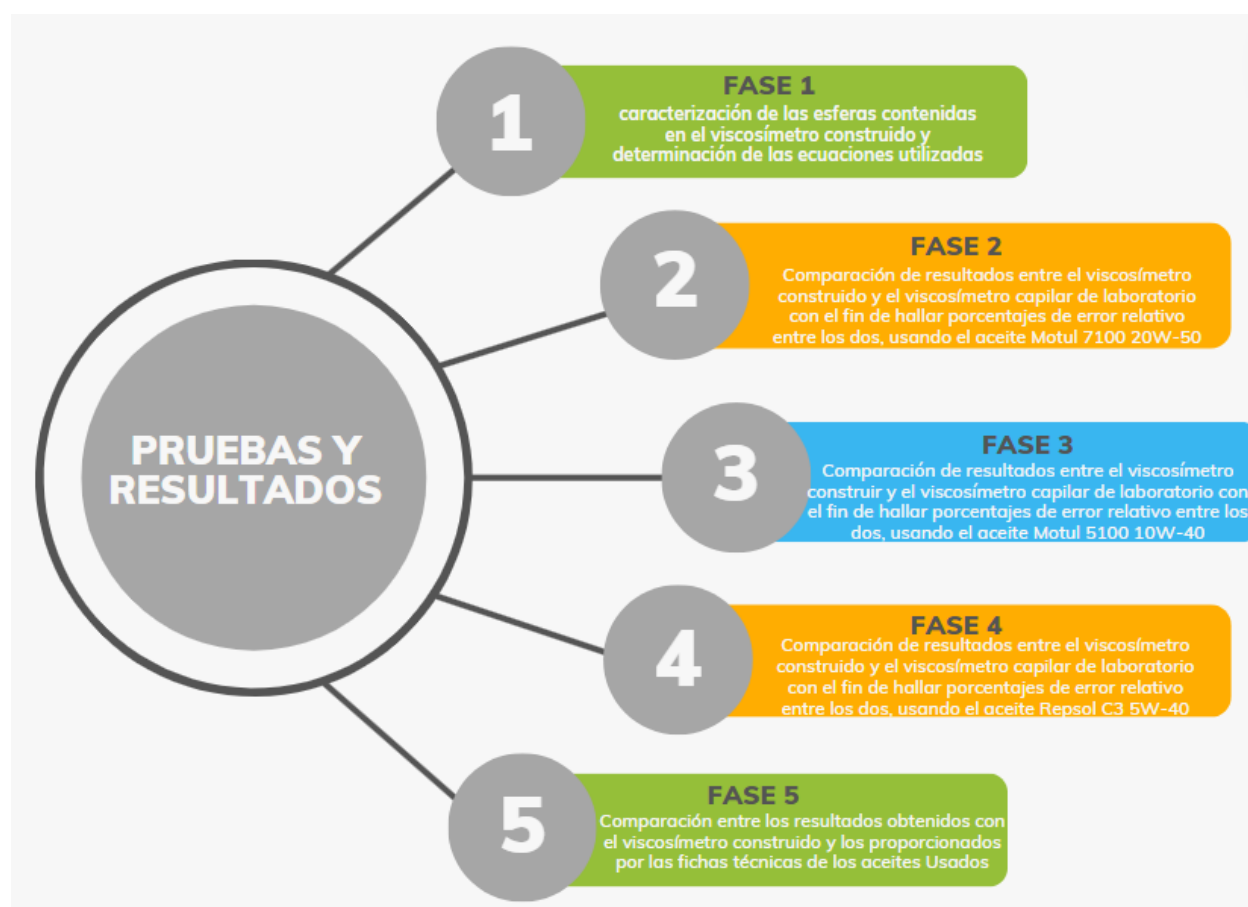
IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

8. Pruebas y Resultados

Con el fin de llevar a cabo con éxito el desarrollo de las pruebas y resultados se plantea dividirlos en 5 fases.

Figura 39

Fases para el desarrollo de las pruebas y resultados



Nota: Fuente (Autores)

La validación de la viscosidad es un paso fundamental en el estudio del comportamiento de los aceites lubricantes SAE (20W 50, 10W 40, 5W 40) en diversas condiciones operativas. En

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

este proceso, se comparará la viscosidad cinemática de estos aceites utilizando tanto un equipo diseñado específicamente para este propósito como un equipo normalizado conforme a la normativa ASTM D445. Esta evaluación nos permitirá asegurar la precisión y consistencia de los datos obtenidos para cada tipo de aceite lubricante, lo que a su vez nos brindará información crucial sobre su rendimiento en aplicaciones reales.

La importancia de la viscosidad de este tipo de aceite radica en su capacidad para mantener una película lubricante adecuada en las superficies metálicas, garantizando así una lubricación efectiva desde el momento en que se pone en uso. Una viscosidad adecuada asegura una protección óptima contra el desgaste y la fricción en los componentes del motor o de la maquinaria, lo que contribuye a prolongar la vida útil de los equipos y a mantener su rendimiento óptimo a lo largo del tiempo.

Para cada uno de los aceites lubricantes que se analizarán en este capítulo se realizaron muestras en dos instrumentos, un equipo viscosímetro capilar de laboratorio y el viscosímetro fabricado, bajo condiciones iguales como la temperatura de análisis 40°C como se establece en la norma ASTM D445, este ejercicio se repitió 4 veces en cada instrumento y se promedió el resultado, tanto para las muestras virgen como para las muestras usadas.

8.1 Fase1, caracterización de las esferas y validación de las ecuaciones usadas en el viscosímetro Construido

Para poder usar la ley de Stokes en el viscosímetro construido, se hace necesario caracterizar las esferas que estarán adentro de la probeta, de igual manera se debe garantizar que las dos esferas usadas sean iguales para que la medición sea más confiable, para realizar dicha

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

caracterización se miden los diámetros de las esferas y su peso para posteriormente calcular su volumen y densidad.

Se realizaron 3 mediciones para poder obtener valores promedios, a fin de reducir el porcentaje de error de los instrumentos de medición usados que para este caso fueron un pie de rey y una gramera.

Tabla 1

Muestras de masa de esfera

	Esfera 1	Esfera 2
Medición 1	1,0 (g)	1,1 (g)
Medición 2	1,1 (g)	1,0 (g)
Medición 3	1,1 (g)	1,1 (g)

Nota: Fuente (Autores)

Tabla 2

Muestras de diámetro de esfera

	Esfera 1	Esfera 2
Medición 1	6,3 (mm)	6,3 (mm)
Medición 2	6,2 (mm)	6,3 (mm)
medición 3	6,3 (mm)	6,3 (mm)

Nota: Fuente (Autores)

Para el cálculo de la masa y diámetro de las esferas se usó la siguiente formula.

$$x = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_{10}}{N_T} \quad (1)$$

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

En la tabla 3, se muestra los datos promedio encontrados.

Tabla 3

Datos promedio

	Esfera 1	Esfera 2
Diámetro	6,26 (mm)	6,3 (mm)
Peso	1,06 (g)	1,06 (g)

Nota: Fuente (Autores)

cálculo del volumen y densidad de las esferas con las siguientes ecuaciones:

$$v = \frac{4}{3} * \pi * R^3 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (2)$$

$$\rho = \frac{m}{v} \text{ [g/mm}^3\text{]} \quad (3)$$

Donde v es el volumen de la esfera, R es el radio, m es la masa y ρ es la densidad.

Tabla 4 *Densidad y volumen de las muestras*

	Esfera 1	Esfera 2
Volumen	128.44 (mm ³)	130,92 (mm ³)
Densidad	8.25x10 ⁻³ (g/mm ³)	8.09x10 ⁻³ (g/mm ³)

Nota: Fuente (Autores)

El viscosímetro diseñado hace uso de la ley de Stokes para calcular la viscosidad dinámica del aceite.

$$\mu = \frac{g * D_p^2 * (\rho_l - \rho_p)}{18V_c} \quad (4)$$

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Donde.

V_c es la velocidad de caída corregida de la esfera. [=] m/s.

g es la aceleración de la gravedad. [=] m/s².

D_p es el diámetro de la esfera. [=] m.

ρ_l es la densidad del fluido. [=] kg/m³.

ρ_p es la densidad de la esfera. [=] kg/m³.

μ es la viscosidad dinámica. [=] kg/(m*s).

Ahora tenemos la fórmula de la velocidad de caída corregida de la esfera.

$$V_c = \left[1 + 2.4 * \frac{r}{R} \right] * V_p \quad (5)$$

Donde.

r es el radio de la esfera. [=] m.

R es el radio de la probeta. [=] m.

V_p es la velocidad límite de la partícula. [=] m/s.

V_c es la velocidad de caída corregida de la esfera. [=] m/s.

Finalmente, para calcular la viscosidad cinemática hacemos uso de la siguiente ecuación.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (6)$$

Donde.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

ν es la viscosidad cinemática. [=] m^2/s .

μ es la viscosidad dinámica. [=] $kg/(m*s)$.

ρ es la densidad del fluido. [=] kg/m^3 .

Para llevar a cabo las pruebas de la viscosidad se tienen tres tipos de aceites los cuales son SAE (20W 50, 10W 40, 5W 40), cada uno tienen una muestra virgen y una muestra con un uso de aproximadamente 2000 km, la primera prueba se llevó a cabo en el laboratorio de fluidos en la escuela de ingeniería de Petróleos, donde se usaron dos viscosímetros capilares, y se siguieron los procedimientos descritos en la norma ASTM D 445.

8.2 Fase 2, comparación de resultados Aceite Motul 7100 20W-50.

El primer aceite SAE 20W - 50 es una variedad comúnmente utilizada en una amplia gama de aplicaciones, desde motores de automóviles y motocicletas hasta maquinaria industrial y equipos pesados. Su clasificación de viscosidad multigrado, con un rango de viscosidad que abarca tanto condiciones de frío como de calor, lo hace especialmente versátil y adaptable a diferentes entornos operativos.

Para este caso usamos un viscosímetro capilar de 300 con una constante aproximada de 0.2483 cSt/s donde se obtuvieron cuatro mediciones de tiempo tanto para la muestra virgen como para la muestra usada y posteriormente promediar, haciendo uso de la siguiente ecuación.

$$\nu = k * t \quad (7)$$

Donde k es la constante del viscosímetro capilar dada en cSt y t es el tiempo de caída del aceite dado en segundos.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Figura 40

Resultados de viscosidad usando el viscosímetro capilar, muestra virgen 20w-50.

Muestra virgen a 40°C				
Aceite 20w-50		t1	483	seg
		t2	482	seg
		t3	487	seg
		t4	485	seg
viscosímetro 300		cte	0.2483	cts/seg
v1	119.9289	cSt		
v2	119.681	cSt		
v3	120.9221	cSt		
v4	120.426	cSt		
v	120.239	cSt		

Nota: Fuente (Autores)

Podemos observar en este caso una viscosidad cinemática aproximada de 120.239 cSt.

Figura 41

Resultados de viscosidad usando el viscosímetro capilar, muestra usada 20w-50.

Muestra usada a 40°C				
Aceite 20w-50		t1	321	seg
		t2	322	seg
		t3	320	seg
		t4	321	seg
viscosímetro 300		cte	0.2483	cts/seg
v1	79.704	cSt		
v2	79.953	cSt		
v3	79.456	cSt		
v4	79.704	cSt		
v	79.7043	cSt		

Nota: Fuente (Autores)

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Se evidencia una disminución en la viscosidad cinemática de la muestra usada con respecto a la virgen, lo cual es un comportamiento normal debido al uso.

Ahora se realizaron cuatro mediciones de la muestra de aceite virgen y usado en el viscosímetro diseñado, para posteriormente calcular un promedio, el ajuste que se manejó en el Angulo de inclinación de la plataforma para realizar todas las mediciones de viscosidad cinemática fue de 30° con respecto a la horizontal, arrojando los siguientes resultados.

Figura 42

Resultados de viscosidad usando el viscosímetro diseñado, muestra virgen 20w-50.

Muestra virgen a 40°C		
Aceite 20w-50		
N1	122.685	cSt
N2	120.162	cSt
N3	124.175	cSt
N4	123.258	cSt
v	122.57	cSt

Nota: Fuente (Autores)

La viscosidad cinemática registrada para la muestra virgen en el viscosímetro diseñado fue de aproximadamente 122.57 cSt, presenta algunas variaciones sin embargo pueden ser causadas por cambios mínimos de temperatura al momento de realizar la medición, ahora se presentan los resultados obtenidos de viscosidad cinemática de la muestra usada.

Figura 43

Resultados de viscosidad usando el viscosímetro diseñado, muestra usada 20w-50.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Muestra usada a 40°C		
Aceite 20w-50		
N1	85.191	cSt
N2	81.293	cSt
N3	82.096	cSt
N4	82.096	cSt
v	82.669	cSt

Nota: Fuente (Autores)

Se evidencia nuevamente una disminución en la viscosidad como es de esperarse, en este casi siendo de 82.669 cSt.

Para corroborar la confiabilidad del viscosímetro diseñado se calcula el porcentaje de error entre las lecturas hechas por los dos viscosímetros usando la siguiente ecuación.

$$\%error = \frac{|valor\ exacto - valor\ aproximado|}{valor\ exacto} * 100 \quad (8)$$

Donde el valor exacto es el valor calculado en el laboratorio de fluidos de la escuela de ingeniería Petróleos y el valor aproximado es el calculado con el viscosímetro diseñado.

$$\% error\ muestra\ virgen = \frac{|120.239 - 122.57|}{120.239} * 100 = 1.90 \%$$

$$\% error\ muestra\ virgen = 1.90 \%$$

$$\% error\ muestra\ usada = \frac{|79.7043 - 82.669|}{79.7043} * 100 = 3.70 \%$$

$$\% error\ muestra\ usada = 3.70 \%$$

En la prueba de confiabilidad realizada comparando el viscosímetro diseñado con el viscosímetro capilar de laboratorio, se observó que el instrumento fabricado presentó un

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

porcentaje de error del cercano 2% para la muestra virgen del aceite lubricante SAE 20W 50. Sin embargo, al analizar las muestras usadas, el porcentaje de error aumentó a un 3.70%. Este resultado indica que la precisión del instrumento disminuye cuando la viscosidad del lubricante baja, en muestras de aceite que han sido utilizadas previamente, posiblemente debido a cambios en la composición del aceite o la presencia de contaminantes.

A continuación, se presenta el cálculo de la desviación estándar para la muestra virgen 20W 50.

Cálculo de la media:

$$Media = \frac{122.685 + 120.162 + 124.75 + 123.258}{4}$$

$$Media = \frac{490.28}{4}$$

$$Media = 122.57$$

Calcula la diferencia entre cada valor de datos y la media, al cuadrado:

$$(122.685 - 122.57)^2 = 0.0135^2 = 0.00018225$$

$$(120.162 - 122.57)^2 = (-2.408)^2 = 5.791264$$

$$(124.175 - 122.57)^2 = 1.605^2 = 2.576025$$

$$(123.258 - 122.57)^2 = 0.688^2 = 0.47334$$

Calcula el promedio de estas diferencias al cuadrado:

$$Promedio = \frac{0.00018225 + 5.791264 + 2.576025 + 0.47334}{4}$$

$$Promedio = \frac{8.840815}{4}$$

$$Promedio = 2.21020$$

Valor de la desviación

$$Desviación Estándar = \sqrt{2.21020}$$

$$Desviación Estándar = 1.487$$

Finalmente, se presenta el cálculo de la desviación estándar para la muestra usada 20W 50.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Cálculo de la media:

$$Media = \frac{85.191 + 81.293 + 82.096 + 82.096}{4}$$

$$Media = \frac{330.676}{4}$$

$$Media = 82.669$$

Calcula la diferencia entre cada valor de datos y la media, al cuadrado:

$$(85.191 - 82.669)^2 = 2.522^2 = 6.361284$$

$$(81.293 - 82.669)^2 = (-1.376)^2 = 1.894176$$

$$(82.096 - 82.669)^2 = (-0.573)^2 = 0.328329$$

$$(82.096 - 82.669)^2 = (-0.573)^2 = 0.328329$$

Calcula el promedio de estas diferencias al cuadrado:

$$Promedio = \frac{6.31284 + 1.894176 + 0.328329 + 0.328329}{4}$$

$$Promedio = \frac{8.912118}{4}$$

$$Promedio = 2.2280295$$

Valor de la desviación :

$$Desviación Estándar = \sqrt{2.2280295}$$

$$Desviación Estándar = 1.492$$

La desviación estándar para la muestra virgen del aceite lubricante Motul 7100 20W 50 es de 1.487, mientras que para la muestra usada es de 1.492. Esto significa que hay una pequeña diferencia en la consistencia de las mediciones sin embargo se mantiene dentro de rangos aceptables.

8.3 Fase 3, comparación de resultados Aceite Motul 5100 10W-40.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Segundo aceite, SAE 10W 40 es utilizado en motores de combustión interna, tanto en vehículos automotores como en maquinaria industrial, gracias a su capacidad para proporcionar una lubricación efectiva en una amplia gama de temperaturas y condiciones operativas.

Para este caso nuevamente usamos un viscosímetro capilar de 300 con una constante aproximada de 0.2483 cSt/s, de igual manera se obtuvieron cuatro mediciones de tiempo tanto para la muestra virgen como para la muestra usada y posteriormente promediaron, haciendo uso de la ecuación 7

Figura 44

Resultados de viscosidad usando el viscosímetro capilar, muestra virgen 10w-40

Muestra virgen a 40°C			
Aceite 10w-40	t1	365	seg
	t2	362	seg
	t3	364	seg
	t4	361	seg
viscosímetro 300	cte	0.2483	cts/seg
v1	90.630	cSt	
v2	89.885	cSt	
v3	90.381	cSt	
v4	89.636	cSt	
v	90.1329	cSt	

Nota: Fuente (Autores)

Podemos observar en este caso una viscosidad cinemática aproximada de 90.1329 cSt, ahora continuamos con los resultados de la muestra usada.

Figura 45

Resultados de viscosidad usando el viscosímetro capilar, muestra usada 10w-40.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Muestra usada a 40°C			
Aceite 10w-40	t1	307	seg
	t2	305	seg
	t3	305	seg
	t4	303	seg
viscosímetro 300	cte	0.2483	cts/seg
v1	76.228	cSt	
v2	75.732	cSt	
v3	75.732	cSt	
v4	75.235	cSt	
v	75.7315	cSt	

Nota: Fuente (Autores)

Al igual que en las pruebas anteriores se evidencia una disminución en la viscosidad cinemática de la muestra usada con respecto a la virgen, lo cual es un comportamiento normal debido al uso.

Continuamos con las cuatro mediciones de la muestra de aceite virgen y usado 10w – 40 en el viscosímetro diseñado, para posteriormente calcular un promedio, arrojando los siguientes resultados.

Figura 46

Resultados de viscosidad usando el viscosímetro diseñado, muestra virgen 10w-40.

Muestra virgen a 40°C		
Aceite 10w-40		
N1	89.124	cSt
N2	93.452	cSt
N3	90.051	cSt
N4	92.53	cSt
v	91.28925	cSt

Nota: Fuente (Autores)

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

La viscosidad cinemática registrada para la muestra virgen en el viscosímetro diseñado fue de aproximadamente 91.28925 cSt, al igual que en la prueba con el tipo de aceite pasado, se evidencian algunas variaciones entre las pruebas, sin embargo, pueden ser causadas por cambios mínimos de temperatura al momento de realizar la medición, ahora se presentan los resultados obtenidos de viscosidad cinemática de la muestra usada.

Figura 47

Resultados de viscosidad usando el viscosímetro diseñado, muestra usada 10w-40.

Muestra usada a 40°C	
Aceite 10w-40	
N1	73 cSt
N2	77 cSt
N3	74 cSt
N4	73 cSt
v	74.25 cSt

Nota: Fuente (Autores)

Al igual que con el viscosímetro capilar se evidencia una disminución en la viscosidad como es de esperarse, en este caso siendo de 74.25 cSt.

Nuevamente para corroborar la confiabilidad del viscosímetro diseñado se calcula el porcentaje de error entre las lecturas hechas por los dos viscosímetros usando la ecuación 8.

$$\% \text{ error muestra virgen} = \frac{|90.1329 - 91.28925|}{90.1329} * 100 = 1.26 \%$$

$$\% \text{ error muestra virgen} = 1.26 \%$$

$$\% \text{ error muestra usada} = \frac{|75.7315 - 74.25|}{75.7315} * 100 = 1.95\%$$

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

$$\% \text{ error muestra usada} = 1.95 \%$$

En el análisis que se llevó a cabo para probar la confiabilidad del viscosímetro fabricado con respecto al viscosímetro capilar de laboratorio. Se analizó la precisión de ambos instrumentos al medir la viscosidad de una muestra virgen y una muestra usada de aceite lubricante SAE 10w 40. Los resultados mostraron que el porcentaje de error para la muestra virgen fue del 1.28%, mientras que para la muestra usada fue del 1.95%. Estos hallazgos indican una buena consistencia en la medición entre los dos viscosímetros, con diferencias mínimas en la precisión, lo que indica que el viscosímetro diseñado puede ser usado en campo con sin ningún inconveniente.

A continuación, se presenta el cálculo de la desviación estándar para la muestra virgen 10W 40.

Cálculo de la media:

$$\text{Media} = \frac{89.124 + 93.452 + 90.051 + 92.53}{4}$$

$$\text{Media} = \frac{365.157}{4}$$

$$\text{Media} = 91.28925$$

Calcula la diferencia entre cada valor de datos y la media, al cuadrado:

$$(89.124 - 91.28925)^2 = (2.16525)^2 = 4.686173$$

$$(93.452 - 91.28925)^2 = 2.16275^2 = 4.676173$$

$$(90.051 - 91.28925)^2 = (-1.23825)^2 = 1.533134$$

$$(92.530 - 91.28925)^2 = 1.24075^2 = 1.537747$$

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Calcula el promedio de estas diferencias al cuadrado:

$$\text{Promedio} = \frac{4.686173 + 4.679077 + 1.533134 + 1.537747}{4}$$

$$\text{Promedio} = \frac{12.43131}{4}$$

$$\text{Promedio} = 3.10878275$$

Valor de la desviación

$$\text{Desviación Estándar} = \sqrt{3.10878275}$$

$$\text{Desviación Estándar} = 1.762$$

Finalmente, se presenta el cálculo de la desviación estándar para la muestra usada 10W 40.

Cálculo de la media:

$$\text{Media} = \frac{73 + 77 + 74 + 73}{4}$$

$$\text{Media} = \frac{297}{4}$$

$$\text{Media} = 74.25$$

Calcula la diferencia entre cada valor de datos y la media, al cuadrado:

$$(73 - 74.25)^2 = (-1.25)^2 = 1.5625$$

$$(77 - 74.25)^2 = 2.75^2 = 7.5625$$

$$(74 - 74.25)^2 = (-0.25)^2 = 0.0625$$

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

$$(73 - 74.25)^2 = (-1.25)^2 = 1.5625$$

Calcula el promedio de estas diferencias al cuadrado:

$$Promedio = \frac{1.5625 + 7.5625 + 0.0625 + 1.5625}{4}$$

$$Promedio = \frac{10.75}{4}$$

$$Promedio = 2.6875$$

Valor de la desviación:

$$Desviación Estándar = \sqrt{2.6875}$$

$$Desviación Estándar = 1.639$$

La desviación estándar para la muestra virgen del aceite lubricante Motul 5100 10W 40 es de 1.762, mientras que para la muestra usada es de 1.639. en este caso la desviación aumento un poco con respecto a las pruebas con el aceite 20W 50, pero siguen siendo valores aceptables de desviación.

8.4 Fase 4, comparación de resultados Aceite Repsol C3 5w-40.

El tercer y último aceite probado fue SAE 5W 40, igualmente se utiliza en vehículos y maquinaria industrial para proporcionar una lubricación eficaz en una amplia gama de temperaturas. Es especialmente útil en motores de gasolina y diésel, garantizando un arranque fácil en frío ya que tiende a tener viscosidades bajas a temperaturas por debajo del ambiente, lo cual garantiza que el aceite llegue de manera rápida a todas las partes que necesitan lubricación.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Para este caso usamos un viscosímetro capilar de 200 con una constante aproximada de 0.1114 cSt/s, de igual manera se llevaron a cabo cuatro mediciones tanto en la muestra virgen como en la muestra utilizada, las cuales posteriormente se promediaron empleando la ecuación 7.

Figura 48

Resultados de viscosidad usando el viscosímetro capilar, muestra virgen 5w-40.

Muestra virgen a 40°C			
Aceite 5w-40	t1	874	seg
	t2	872	seg
	t3	875	seg
	t4	874	seg
viscosímetro 200	cte	0.1114	cts/seg
v1	97.364	cSt	
v2	97.141	cSt	
v3	97.475	cSt	
v4	97.364	cSt	
v	97.3358	cSt	

Nota: Fuente (Autores)

Se puede observar una viscosidad aproximada de 97.3358 cSt, en esta prueba también las variaciones entre pruebas fueron mínimas, continuamos con las pruebas realizadas a la muestra usada.

Figura 49

Resultados de viscosidad usando el viscosímetro capilar, muestra usada 5w-40.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Muestra usada a 40°C			
Aceite 5w-40	t1	800	seg
	t2	795	seg
	t3	798	seg
	t4	796	seg
viscosímetro 200	cte	0.1114	cts/seg
v1	89.120	cSt	
v2	88.563	cSt	
v3	88.897	cSt	
v4	88.674	cSt	
v	88.8137	cSt	

Nota: Fuente (Autores)

Nuevamente se observa que las pruebas realizadas a la muestra virgen cuentan una viscosidad cinemática más baja, lo cual sigue la línea de comportamiento de los demás aceites estudiados, seguimos con las pruebas realizadas en el viscosímetro diseñado para posteriormente comparar los resultados.

Figura 50

Resultados de viscosidad usando el viscosímetro diseñado, muestra virgen 5w-40.

Muestra virgen a 40°C		
Aceite 5w-40		
N1	98.514	cSt
N2	101.625	cSt
N3	100.582	cSt
N4	99.562	cSt
v	100.0708	cSt

Nota: Fuente (Autores)

En este caso la viscosidad cinemática registrada por el viscosímetro diseñado fue de aproximadamente 100.0708 cSt, estando un poco por encima de la calculada con el viscosímetro

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

capilar pero dentro del rango de error permisible, finalmente se muestran las pruebas realizadas a la muestra de aceite usado.

Figura 51

Resultados de viscosidad usando el viscosímetro diseñado, muestra usada 5w-40

Muestra usada a 40°C		
Aceite 5w-40		
N1	87.251	cSt
N2	86.254	cSt
N3	85.014	cSt
N4	86.89	cSt
v	86.35225	cSt

Nota: Fuente (Autores)

Una vez más se corrobora que la viscosidad cinemática en los aceites lubricantes baja después de cierto uso, siendo en este caso para la prueba usada de 86.352 cSt.

Para cerrar esta etapa de verificación de confiabilidad del viscosímetro diseñado se vuelve a calcular el porcentaje de error entre las lecturas hechas por los dos viscosímetros usando la ecuación 8.

$$\% \text{ error muestra virgen} = \frac{|97.3358 - 100.070|}{97.3358} * 100 = 2.67 \%$$

$$\% \text{ error muestra virgen} = 2.67 \%$$

$$\% \text{ error muestra usada} = \frac{|88.8137 - 86.35225|}{88.8137} * 100 = 2.77\%$$

$$\% \text{ error muestra usada} = 2.77 \%$$

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

En la prueba de confiabilidad comparativa entre el viscosímetro fabricado y el viscosímetro capilar de laboratorio, se encontró un error por debajo del 3%, lo que sugiere una consistencia en la medición. Estos resultados indican que el instrumento fabricado es confiable para evaluar la viscosidad del aceite.

A continuación, se presenta el cálculo de la desviación estándar para la muestra virgen 5W 40.

Cálculo de la media:

$$\begin{aligned} \text{Media} &= \frac{98.514 + 101.625 + 100.582 + 99.562}{4} \\ \text{Media} &= \frac{400.283}{4} \\ \text{Media} &= 100.07075 \end{aligned}$$

Calcula la diferencia entre cada valor de datos y la media, al cuadrado:

$$\begin{aligned} (98.514 - 100.07075)^2 &= (-1.55675)^2 = 2.4271 \\ (101.625 - 100.07075)^2 &= 1.55425^2 = 2.4149 \\ (100.582 - 100.07075)^2 &= 0.51125^2 = 0.26135 \\ (99.562 - 100.07075)^2 &= (-1.25)^2 = 1.5625 \end{aligned}$$

Calcula el promedio de estas diferencias al cuadrado:

$$\begin{aligned} \text{Promedio} &= \frac{2.42718 + 2.4149 + 0.2613 + 0.2588}{4} \\ \text{Promedio} &= \frac{5.362270}{4} \\ \text{Promedio} &= 1.3405 \end{aligned}$$

Valor de la desviación:

$$\begin{aligned} \text{Desviación Estándar} &= \sqrt{1.34056} \\ \text{Desviación Estándar} &= 1.158 \end{aligned}$$

Finalmente, se presenta el cálculo de la desviación estándar para la muestra usada 5W 40.

Cálculo de la media:

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

$$Media = \frac{87.251 + 86.254 + 85.014 + 86.89}{4}$$

$$Media = \frac{345.409}{4}$$

$$Media = 86.35225$$

Calcula la diferencia entre cada valor de datos y la media, al cuadrado:

$$(87.251 - 86.35225)^2 = (0.89875)^2 = 0.80755$$

$$(86.254 - 86.35225)^2 = (-0.09825)^2 = 0.009654$$

$$(85.014 - 86.35225)^2 = (-1.33825)^2 = 1.791317$$

$$(86.89 - 86.35225)^2 = (0.53775)^2 = 0.289031$$

Calcula el promedio de estas diferencias al cuadrado:

$$Promedio = \frac{0.80755 + 0.009654 + 1.791317 + 0.29031}{4}$$

$$Promedio = \frac{2.89756}{4}$$

$$Promedio = 0.72439$$

Valor de la desviación:

$$Desviación Estándar = \sqrt{0.72439}$$

$$Desviación Estándar = 0.851$$

La desviación estándar para la muestra virgen del aceite lubricante Repsol C3 5W 40 es de 1.158, mientras que para la muestra usada es de 0.851, En este caso fue el aceite con menor desviación en la toma de datos, confirmando la poca dispersión que existe entre los datos.

8.5 Fase 5, comparación de resultados con las fichas técnicas de los aceites.

Gracias a que los aceites estudiados para evaluar la confiabilidad del viscosímetro fabricado son de uso comercial, se cuenta con una ficha técnica proporcionada por cada fabricante, donde se encuentran diversas características técnicas de los mismos, entre ellas su viscosidad cinemática bajo la norma ASTM D445, por lo tanto a continuación se presentan

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

dichas fichas técnicas con la finalidad de posteriormente comparar las viscosidades con las ya obtenidas previamente en el viscosímetro diseñado.

Tabla 5

Ficha técnica aceite Motul 7100 20w-50

Color	Visual	Rojo
Grado de viscosidad	SAE J 300	20W-50
Densidad a 20 °C (68 °F)	ASTM D1298	0.864
Viscosidad a 40 °C (104 °F)	ASTM D445	126.5 mm ² /s
Viscosidad a 100 °C (212 °F)	ASTM D445	18.0 mm ² /s
Índice de viscosidad	ASTM D2270	158.0
Punto congelación	ASTM D97	-30.0 °C / -22.0 °F
TBN	ASTM D2896	8.4 mg KOH/g
Punto de inflamación	ASTM D92	236.0 °C / 457.0 °F

Nota: Tomado de (Motul Ibérica S.A, 2021),www.azupim01.motul.com

Como se puede observar en la tabla anterior, el aceite Motul 7100 20w-50 presenta una viscosidad cinemática a 40°C bajo la norma ASTM D445 de 126.5 mm²/s, lo que es equivalente a cSt, usando la ecuación 8 para compararla con la prueba realizada en el viscosímetro diseñado que arrojó un resultado de 120.239 cSt y obtener el porcentaje de error relativo entre las dos se evidencia un error porcentual de 3.10 %.

$$\% \text{ error ficha tecnica vs viscosímetro diseñado} = \frac{|126.5 - 122.57|}{126.5} * 100 = 3.21 \%$$

$$\% \text{ error ficha tecnica vs viscosímetro diseñado} = 3.21 \%$$

Tabla 6

Ficha técnica aceite Motul 5100 10w-40

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Farbe	Visual	Ámbar
Grado de viscosidad	SAE J 300	10W-40
Densidad a 20 °C (68 °F)	ASTM D1298	0.871
Viscosidad a 40 °C (104 °F)	ASTM D445	89.8 mm ² /s
Viscosidad a 100 °C (212 °F)	ASTM D445	13.8 mm ² /s
Índice de viscosidad	ASTM D2270	157.0
Punto congelación	ASTM D97	-33.0 °C / -27.0 °F
TBN	ASTM D2896	7.5 mg KOH/g
Punto de inflamación	ASTM D92	226.0 °C / 439.0 °F

Nota: Tomado de (Motul Ibérica S.A, 2021), www.azupim01.motul.com

Como se puede apreciar en la tabla anterior, para este caso el aceite Motul 5100 10w-40 muestra una viscosidad cinemática a 40°C, conforme a la norma ASTM D445, de 89.8 mm²/s, expresada también como cSt. Al comparar este valor con el resultado obtenido en la prueba realizada con el viscosímetro diseñado que fue de 90.1329 cSt, se revela un margen de error porcentual del 1.65 %. al usar la ecuación 8.

$$\% \text{ error ficha tecnica vs viscosímetro diseñado} = \frac{|89.8 - 91.2882|}{89.8} * 100 = 1.62 \%$$

$$\% \text{ error ficha tecnica vs viscosímetro diseñado} = 1.62 \%$$

Tabla 7

Ficha técnica Aceite Repsol C3 5w-40

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

	UNIDAD	MÉTODO	VALOR
GRADO SAE			5W-40
Densidad a 15 °C	g/ml	ASTM D 4052	0,852
Viscosidad a 100 °C	cSt	ASTM D 445	14,6
Viscosidad a 40 °C	cSt	ASTM D 445	87
Viscosidad a -30 °C	cP	ASTM D 5293	6600 máx.
Índice de viscosidad	-	ASTM D 2270	170
Punto de inflamación, vaso abierto	°C	ASTM D 92	215 mín.
Punto de congelación	°C	ASTM D 97	-36
T.B.N.	mg KOH/g	ASTM D 2896	7,4
Cizallamiento Inyector Bosch: Viscosidad a 100 °C después de cizalla	cSt	CEC-L-40-93	12,5
Volatilidad Noack, 1h a 250 °C	% peso	CEC-L-40-93	12 máx.
HTHS, viscosidad a 150 °C	cP	CEC-L-36-90	>3,5

Nota: Tomado de (Motul Ibérica S.A, 2021), www.azupim01.motul.com

Según la tabla mencionada, el aceite Repsol C3 5w-40, exhibe una viscosidad cinemática a 40°C de 87 cSt, conforme a la norma ASTM D445, al comparar este dato con el resultado de la prueba realizada en el viscosímetro diseñado, que arrojó 100 cSt, se revela usando la ecuación 8 un error porcentual del 13%.

$$\% \text{ error ficha tecnica vs viscosímetro diseñado} = \frac{|87 - 100|}{87} * 100 = 13 \%$$

$$\% \text{ error ficha tecnica vs viscosímetro diseñado} = 13 \%$$

Después de analizar los resultados de la comparación de viscosidad cinemática entre los datos proporcionados por las fichas técnicas de cada uno de los aceites y el viscosímetro diseñado, se demuestra que para el caso de los aceites Motul 7100 20w-50 y Motul 5100 10w-40 el porcentaje de error relativo es muy bajo, siendo de 3.21% y 1.62 % respectivamente, lo cual garantiza una buena precisión al momento de medir la viscosidad cinemática por parte del viscosímetro diseñado, sin embargo para el aceite Repsol C3 5w-40 el porcentaje de error

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

relativo aumentó hasta un 13% estando un poco por encima de los esperado, sin embargo las causas de esto pueden ser la contaminación de la muestra al momento de su compra, ya que tanto el viscosímetro capilar del laboratorio de la escuela de ingeniería de Petróleos como el viscosímetro diseñado arrojaron viscosidades similares.

A continuación, se presenta una tabla donde se aprecian los resultados obtenidos en las pruebas realizadas a las muestras vírgenes con el viscosímetro de laboratorio, el viscosímetro diseñado y los datos de las fichas técnicas, Así como los porcentajes de error relativo correspondientes.

Figura 52

Resumen de resultados tabulados

Viscosidad cinemática (cSt) muestras vírgenes			
DISPOSITIVOS	SAE 20W-50	SAE 10W-40	SAE 5W-40
1. Viscosímetro capilar (Laboratorio)	120,24	90,13	97,33
2. Ficha técnica	126,50	89,80	87,00
3. Viscosímetro diseñado	122,57	91,28	100,00
% error relativo entre 1 y 3	1,90%	1,26%	2,67%
% error relativo entre 2 y 3	3,21%	1,62%	13,00%

Nota: Fuente (Autores)

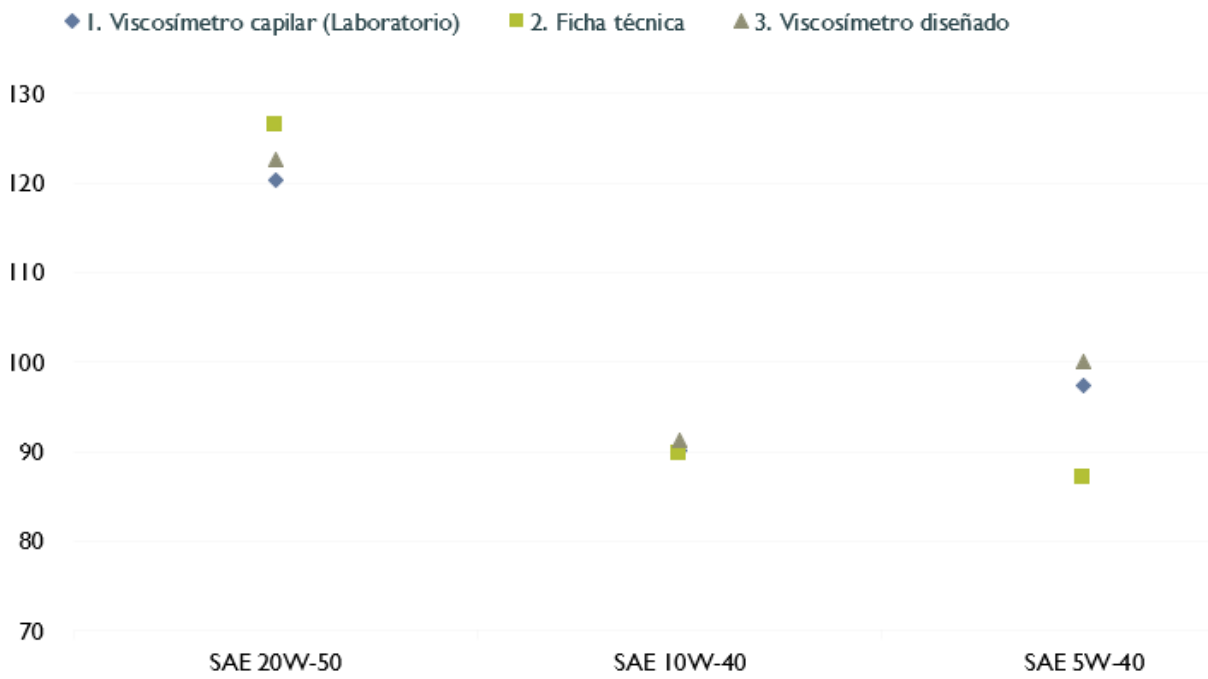
También se muestra una gráfica donde se aprecia la dispersión que existe entre las muestras realizadas en cada uno de los equipos y las fichas técnicas.

Figura 53

Resumen de resultados diagrama de dispersión

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

VISCOSIDAD CINEMÁTICA (cSt)



Nota: Fuente (Autores)

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

9. Costos del Equipo

En el proceso de determinar los costos asociados con la construcción y desarrollo del viscosímetro, Se consideraron detalladamente los gastos relacionados con la adquisición de materiales necesarios para la fabricación del dispositivo, así como los costos asociados con la mano de obra especializada requerida para su ensamblaje y puesta en funcionamiento.

Tabla 8

Costos de fabricación del viscosímetro

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Plástico (PLA)	2	\$ 65,000.00	\$ 130,000.00
Arduino Mega 2560	1	\$ 135,000.00	\$ 135,000.00
Fuente 5V 2A conector Jack	1	\$ 18,000.00	\$ 18,000.00
Teclado membrana 4x4	1	\$ 7,500.00	\$ 7,500.00
Jumpers	6	\$ 3,500.00	\$ 21,000.00
Sensores de proximidad inductivos	4	\$ 22,500.00	\$ 90,000.00
Pantalla LCD 20x4	1	\$ 40,000.00	\$ 40,000.00
Modulo i2C	1	\$ 9,000.00	\$ 9,000.00
Servo motor MG995	1	\$ 29,000.00	\$ 29,000.00
Acople elástico 5x8mm	1	\$ 12,000.00	\$ 12,000.00
Chumacera con rodamiento 8mm Kp08	2	\$ 12,000.00	\$ 24,000.00
Varilla lisa aluminio 8mm	1	\$ 20,000.00	\$ 20,000.00
Tubos de ensayo 16x150mm	6	\$ 28,000.00	\$ 168,000.00
Insumo de soldadura (Estaño + Pomada)	1	\$ 30,000.00	\$ 30,000.00
Recipiente de vidrio	1	\$ 8,000.00	\$ 8,000.00
Calentador de agua	1	\$ 10,000.00	\$ 10,000.00
Termómetro digital	1	\$ 20,000.00	\$ 20,000.00
Protoboard	1	\$ 5,000.00	\$ 5,000.00
Asesorías	8	\$ 50,000.00	\$ 400,000.00
Corchos	6	\$ 500.00	\$ 3,000.00
Impresión 3D	5	\$ 100,000.00	\$ 500,000.00
envíos	4	\$ 15,000.00	\$ 60,000.00
Total			\$ 1,739,500.00

Nota: Fuente (Autores)

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

10. Conclusiones y Recomendaciones

En el presente proyecto, se implementó y construyo con éxito un viscosímetro, el cual permite medir con la viscosidad cinemática de aceites lubricantes SAE (20w-50, 10w-40, 5w-40), esto representa un paso significativo a la misión de la escuela de ingeniería Mecánica de formar profesionales con alta calidad técnica y científica.

Cumpliendo con el primer objetivo específico, realizando una investigación bibliográfica se logró que todo el sistema funcionara correctamente, únicamente usando como fuente de alimentación para el viscosímetro el puerto USB tipo A del computador, o en su defecto una fuente de 5V-2A, logrando reducir costos en su construcción, esto gracias a la correcta selección de los componentes electrónicos usados, verificando que en orden de marcha estos no requirieran una tensión mayor a 5V.

Cumpliendo con el segundo objetivo específico se implementaron, construyeron y verificaron el correcto funcionamiento de los componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos e informáticos que conforman el prototipo del viscosímetro, logrando así poder medir de manera exitosa y repetible la viscosidad cinemática de los aceites lubricantes mencionados anteriormente.

Cumpliendo con el tercer objetivo específico se realizaron pruebas comparativas entre el viscosímetro construido, el viscosímetro capilar calibrado del laboratorio de la escuela de Ingeniería de Petróleos y datos proporcionados por las fichas técnicas de los aceites, basados en la norma ASTM D445, las cuales superaron las expectativas mostrando porcentajes de error relativos entre los datos menores al 4 % para todas muestras, lo cual garantiza una alta

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

confiabilidad al momento de usar el viscosímetro construido para medir la viscosidad cinemática de los aceites lubricantes anteriormente mencionados.

La finalización exitosa del proyecto abre nuevas oportunidades para la investigación y desarrollo, con la posibilidad de continuar explorando mejoras en la precisión y eficiencia del viscosímetro, así como su adaptación para la medición de otros fluidos, de igual manera se sugiere la integración del viscosímetro en la industria en procesos de control de calidad y mantenimiento predictivo, con la finalidad de generar beneficios en términos de reducción de costos.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Bibliografía

- Alexandra, M. P. D., & Paula, P. Q. M. (2019, 23 julio). Diseño y construcción de un medidor de viscosidad. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18131>.
- Bird, R. B., Stewart, W. E., & Lightfoot, E. N. (2002). *Transport phenomena* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Brizuela, A., Hernández, J., & Molina, J. (2017). Los lubricantes en la industria. *Revista de Investigación Académica*, 4, 1-15.
- Eduardo, L. M. J., & Rodrigo, D. B. (2010, 10 noviembre). Rediseño y experimentación del banco de pruebas del viscosímetro SAYBOLT. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1406>.
- Fernanda, A. V. D., & Mauricio, V. S. E. (2008). Diseño, construcción y validación de un viscosímetro de caída de bola para medir viscosidades dinámicas de productos líquidos alimenticios. [hdl:20.500.12010/12651](https://hdl.handle.net/20.500.12010/12651).
<https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/12651>.
- Ghiță, I., Grigorie, T. L., & Marinescu, G. (2019). The importance of the viscosity of lubricating oils. *Journal of Engineering Studies and Research*, 25(1), 1-9.
- Liu, Z., Lin, Q., & Pan, Y. (2021). Effects of viscosity on the performance of lubricating oils in rolling bearings. *Tribology International*, 157, 1-10. doi: 10.1016/j.triboint.2020.106792.
- Marcos, C. T., & De València Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño - Escola Tècnica Superior D'Enginyeria del Disseny, U. P. (2022, 24 enero). Diseño de un

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

viscosímetro de caída de cuerpo para altas presiones y temperaturas.

<https://riunet.upv.es/handle/10251/179159>

Marcos, G. M. I., Sánchez, M. P., & Jiménez, P. A. L. (2017). Modelo experimental para estimar la viscosidad de fluidos no newtonianos: ajuste a expresiones matemáticas convencionales. *Modelling In Science Education And Learning*, 10(1), 5.

<https://doi.org/10.4995/msel.2017.5901>.

M, M. G., & J, P. A. (1986). Diseño, construcción y calibración de un viscosímetro Ubbelohde modificado. [https://pascal-](https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=8195655)

[francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=8195655](https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=8195655).

Orlando, C. C. (1999). Diseño, construcción y montaje de un banco de pruebas para ensayos de viscosidad en líquidos. <https://repositorio.utb.edu.co/handle/20.500.12585/965>.

Pedro, M. A., & De Catalunya Departament D'Organització D'Empreses, U. P. (2019, 21 enero). Estudio de la viabilidad para la introducción al mercado y diseño de un viscosímetro para uso doméstico. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/176969>.

Sanabria, J. C., Salgado, S. J. F., & López, S. E. S. (2016). Diseño de un equipo de pruebas rápidas para aceites usados. *Inge-Cuc*, 12(1), 80-85.

<https://doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.08>.

Reyes-Flores, E. (2019, 5 julio). Tipos de sensores.

<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ixtlahuaco/article/view/4405>.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

T, R. R., C, R. M., & U, A. R. (1988, 1 enero). Viscosímetro de cilindros concéntricos de extremadamente bajos esfuerzos de corte.

<https://rmf.smf.mx/ojs/index.php/rmf/article/view/2052>.

Universidad de Talca (Chile). Escuela de Ingenieria Mecanica. (2006, 26 diciembre). DSpace Biblioteca Universidad de Talca (v1.5.2): Diseno y construccion de un viscosimetro de stokes. <http://dspace.otalca.cl/handle/1950/3136>.

Valencia, D. F. A., & Solano, E. M. V. (2011, 12 octubre). DISEÑO, CONSTRUCCIÓN y VALIDACIÓN DE UN VISCOSÍMETRO DE CAÍDA DE BOLA PARA MEDIR VISCOSIDADES DINÁMICAS DE PRODUCTOS LÍQUIDOS ALIMENTICIOS. Abril Valencia | Alimentos Hoy.

https://acta.org.co/acta_sites/alimentoshoy/index.php/hoy/article/view/100.

Vinicio, P. S. G., Luis, C. M. J., Gabriel, C. M. A., & Diego, Z. V. J. (2023, 1 noviembre).

Análisis estadístico neutrosófico sobre la variación de viscosidad del aceite sae 10w30 semisintético y sintético en función del kilometraje recorrido. | Neutrosophic Computing & Machine Learning | EBSCOhost.

<https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A10%3A15320922/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A174386377&crl=c>.

Walter, M. G. H. (2019). Diseño de un sistema de medición de viscosidad del aceite en un motor de combustión interna en vehículos livianos.

<https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/2190>.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Zuleta, R. E. M., Osorio, R. A. P., & De Jesús Restrepo Estrada, H. (2005, 30 diciembre).

Construcción de un viscosímetro Saybolt Universal.

<https://revistas.pascualbravo.edu.co/index.php/cintex/article/view/140>.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Apéndice A Código de control del viscosímetro

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Key.h>
#include <Keypad.h>
//#include <MPU6050.h>
#include <Servo.h>

Servo Servo_1;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4); // direccion del lcd para pantalla 20 caracteres y 4 lineas

// IMPORTANTE!!!!
// En este caso el cero inicial del servomotor es la inclinación de la plataforma en 24 grados
// a la izquierda, por esa razon se le agregan 24 grados a cada llamado al servo
// y tambien se le agregan los mismos al angulo al momento de pedirlo en el proceso.

const byte FILAS = 4;
const byte COLUMNAS = 4;
char keys[FILAS][COLUMNAS]={
  {'1','2','3','A'},
  {'4','5','6','B'},
  {'7','8','9','C'},
  {' ','0','#','D'},
};

byte pinesFilas[FILAS] = {30,32,34,36}; //indicamos a dónde se conectan las filas y columnas
byte pinesColumnas[COLUMNAS] = {38,40,42,44};
Keypad teclado = Keypad(makeKeymap(keys), pinesFilas, pinesColumnas, FILAS, COLUMNAS);
char TECLA;//almacena la tecla pulsada

```

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

```

int tempo = 0;

int density = 0; //valor predeterminado de densidad de un aceite

int detected1,detected2,detected1_1,detected2_2; // se detectan los valores de los sensores

int angulo=0; //angulo en el que se va a trabajar la inclinacion de la plataforma

int temp1 = 0;

//declarando variables de fórmula para hallar la viscosidad dinámica

float radio = 0.00310; // esfera m
float radioP = 0.017; // probeta metros
float gravedad = 9.80665; // m/s2
float densi_esfera = 8402;
float coseno = 0.5; // cos 60
float tiempoS1, tiempoS2;
float distancia = 0.115; // metros
float velocidad, velocidadu;
float velocidadcorregidav, velocidadcorregidau;
float viscDinamicav, viscDinamicau; // kg/(m*s)
float visCcinematicav, visCcinematicau; // m2/s
float visCcinematicacStv, visCcinematicacStu; // cSt

float ttoma1 = 0, ttoma1_1 = 0, ttoma2 = 0, ttoma2_2 = 0; // tiempos tomados en los sensores
#define T_VIRGENIN 48 //pin sensor inicial aceite virgen negro = señal, azul = gnd, marron = 5v
#define T_VIRGENEND 49 //pin sensor final aceite virgen
#define T_USOIN 50 //pin sensor inicial aceite usado
#define T_USOEND 51 //pin sensor final aceite usado
//#define fincarre 9 //final de carrera

void setup()
{

```

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

```

Servo_1.attach(3); // pin del servomotor
Serial.begin(9600);
lcd.init(); // inicializa la lcd
lcd.backlight();

pinMode(T_VIRGENIN, INPUT);
pinMode(T_VIRGENEND, INPUT);
pinMode(T_USOIN, INPUT);
pinMode(T_USOEND, INPUT);
//pinMode(fincarre, INPUT);

}

void loop()
{
  Servo_1.write(54); // Plataforma a 30 grados por formula  $-24 + 54 = 30$  grados del servo
  bienvenida(); //función nde bienvenida
  menu_0(); // función de menú aceites
  density = densidad(TECLA); // funcion de desidad predeterminada segun ceite seleccionado
  msjProvetas();
  calibrar();
  tomarDatos();

}

// funcion que da la bienvenida al usuario
void bienvenida(){
  lcd.setCursor(5,0);
  lcd.print("BIENVENIDO");
  delay(500);
}

```

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

```

lcd.setCursor(4,1);
lcd.print("VISCOSIMETRO");
lcd.setCursor(2,2);
lcd.print("POR COMPARACION");
lcd.setCursor(8,3);
lcd.print("UIS.");
delay(2500);
lcd.clear();
delay(500);
}

// menú de selección de aceite segun referencia
void menu_0 (){
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Tipo aceite");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("A: 20W - 50");
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("B: 10W - 40");
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("C: 5W - 40");
}

// función que lee las teclas pulsadas
char teclado4x4(char tecla){
  while(tempo == 0){
    tecla=teclado.getKey();//lee la tecla pulsada
    if(tecla){
      tempo = 1; // indica la salida del while
    }
  }
  delay(100);
}

```

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

```

    }
    tempo = 0;
    return tecla; // retorna el valor de la tecla pulsada
}

// función de seleccion densidad predeterminada
int densidad(char tecla){

    int valorDensidad = 0;
    Serial.println(valorDensidad);
    while(valorDensidad == 0){
        Serial.println(valorDensidad);
        tecla = teclado4x4(TECLA);

        if(tecla == 'A'){
            valorDensidad = 860; // predeterminada para 20W - 50
        }
        if(tecla == 'B'){
            valorDensidad = 870; // predeterminada para 10W - 40
        }
        if(tecla == 'C'){
            valorDensidad = 840; // predeterminada para 5W - 40
        }
    }
    lcd.clear();
    return valorDensidad;
}

// función mensaje, las probetas estan en su lugar?
void msjProvetas(){

```

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

```

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Ingrese las probetas");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("al viscosimetro");
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("D: Continuar");
temp1 = 0;
while(temp1 ==0){
  if(teclado4x4(TECLA)=='D'){
    lcd.clear();
    temp1 = 1;
  }
}

}

//funcion qe calibra la plataforma al inicio de la toma de tiempos
void calibrar(){
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Calibrando");
  delay(200);
  lcd.setCursor(12,0);
  lcd.print(".");
  delay(200);
  lcd.setCursor(13,0);
  lcd.print(".");
  delay(200);
  lcd.setCursor(14,0);
  lcd.print(".");
  giroizquierda(54,30);// devuelve la plataforma a -24 grados del servo

```

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

```

delay(5000);

lcd.clear();

detected1 = !digitalRead(T_VIRGENIN); // detecta si las esferas están sobre el sensor
detected1_1 = !digitalRead(T_USOIN);

if(detected1 && detected1_1){ // si estan sobre los sensores de inicio está calibrado

  lcd.setCursor(0,0);

  lcd.print("Calibrado");

  delay(300);

  lcd.setCursor(0,1);

  lcd.print("(Esferas en inicio)");

  delay(2000);

  lcd.clear();

  int a = 0;

  while(a == 0){ // ciclo para ingresar el angulo y para verificar si es correcto

    lcd.setCursor(0,0);

    lcd.print("Ingrese el angulo");

    int a1 = 0; String anguloIng="";

    while(a1 == 0){ // ciclo para ingresar el angulo

      TECLA = teclado4x4(TECLA);

      if(TECLA == 'D'){

        a1 = 1;

      }else{

        if(TECLA != ' '){

          lcd.clear();

          anguloIng+=TECLA; // almacena el angulo en valores de texto

          lcd.setCursor(0,0);

          lcd.print("INGRESO");

          lcd.setCursor(0,1);

          lcd.print(anguloIng);

          delay(100);

```

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

```

    }
  }
}

angulo = anguloIng.toInt();// convierte y almacena el angulo a valores numericos
if(angulo > 40){
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("El angulo no puede");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("ser mayor a 40");
  delay(2000);
  lcd.clear();
}
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("El angulo es: ");
lcd.setCursor(16,0);
lcd.print(angulo);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Es corrento?");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("D: Si B: No");
temp1 = 0;
while(temp1 ==0){
  TECLA = teclado4x4(TECLA);
  if(TECLA == 'D'){// si es correcto lo asigna a la variable angulo
    a = 1;
    temp1 = 1;
    lcd.clear();
    angulo = angulo + 24;
  }
  if(TECLA == 'B'){// si es correcto lo asigna a la variable angulo

```

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

```

    temp1 = 1;
    lcd.clear();
}
}

}
}

else{ //si no están las esferas sobre los sensores iniciales
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("No calibrado");
    delay(500);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Esferas no estan ");
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print("en inicio");
    delay(500);
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("Regresando...");
    giroderecha(54,40); // devuelve la plataforma al inicio para verificar las probetas
    lcd.clear();
}
}

// función para tomar los datos
void tomarDatos(){
    detected1 = !digitalRead(T_VIRGENIN);
    detected1_1 = !digitalRead(T_USOIN);
    if(detected1 && detected1_1){ // si ambos sensores iniciales están activos se mueve para realizar la toma de
    tiempos
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("moviendo...");

```

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

```

delay(1000);

giroderecha(angulo,10);// se mueve a la derecha el angulo ingresado

lcd.clear();

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("calculando...");

int a3 = 0, a4 = 0, t1 = 0, t2 = 0, t3 = 1, t4 = 1;

while(a3 == 0 || a4 == 0){ // se calcula el tiempo que tardan en recorrer las esferas del sensor inicial al
sensor final

    detected1 = !digitalRead(T_VIRGENIN);

    detected2 = !digitalRead(T_VIRGENEND);

    detected1_1 = !digitalRead(T_USOIN);

    detected2_2 = !digitalRead(T_USOEND);

    if(detected1 == 0 && t1 == 0){ //cuando ya no detecta la esfera en el sensor inicial 1

        ttoma1=millis();// capta el momento en milisegundos inicial

        t1=1;

        t3=0;

    }

    if(detected1_1 == 0 && t2 == 0){ //cuando ya no detecta la esfera en el sensor inicial 2

        ttoma1_1=millis();

        t2=1;

        t4=0;

    }

    if(detected2 == 1 && t3 == 0){ //cuando ya no detecta la esfera en el sensor final 1

        ttoma2=millis();// capta el momento en milisegundos final

        t3 = 1;

        a3 = 1;

    }

    if(detected2_2 == 1 && t4 == 0){

        ttoma2_2=millis();

        t4 = 1;

        a4 = 1;

    }

}

```

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

```

    }
}

lcd.clear();

//calcula el tiempo que tomó el recorrer el aceite virgen
tiempoS1 = (ttoma2-ttoma1)/1000; //calcula el tiempo que tomó el recorrer el aceite virgen
velocidadv = distancia/tiempoS1;
velocidadcorregidav = (1+(24*(radio/radioP)))*velocidadv;

tiempoS2 = (ttoma2_2-ttoma1_1)/1000; //calcula el tiempo que tomó el recorrer el aceite usado
velocidadu = distancia/tiempoS2;
velocidadcorregidau = (1+(24*(radio/radioP)))*velocidadu;

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Tiempo 1:");
lcd.setCursor(1,1);
lcd.print(tiempoS1,4);
lcd.setCursor(8,1);
lcd.print("seg");

lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("Tiempo 2:");
lcd.setCursor(1,3);
lcd.print(tiempoS2,4);
lcd.setCursor(8,3);
lcd.print("seg");

temp1 = 0;
while(temp1 ==0){
    if(teclado4x4(TECLA)=='D'){

```

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

```

    lcd.clear();
    temp1 = 1;
}
}

```

```

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Vel_C 1:");
lcd.setCursor(8,0);
lcd.print(velocidadcorregidav,3);
lcd.setCursor(14,0);
lcd.print("m/s");
Serial.println(velocidadv,3);

```

```

lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Vel_C 2:");
lcd.setCursor(8,1);
lcd.print(velocidadcorregidau,3);
lcd.setCursor(14,1);
lcd.print("m/s");
Serial.println(velocidadu);

```

```

viscDinamicav = (2*radio*radio*gravedad*coseno*(densi_esfera - density))/(9*velocidadcorregidav);
viscDinamicau = (2*radio*radio*gravedad*coseno*(densi_esfera - density))/(9*velocidadcorregidau);

```

```

lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("Vis_D 1:");
lcd.setCursor(8,2);
lcd.print(viscDinamicav,3);

```

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

```
lcd.setCursor(14,2);
lcd.print("kg/m*s");

lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("Vis_D 2:");
lcd.setCursor(8,3);
lcd.print(viscDinamicau,3);
lcd.setCursor(14,3);
lcd.print("kg/m*s");

temp1 = 0;
while(temp1 ==0){
  if(teclado4x4(TECLA)=='D'){
    lcd.clear();
    temp1 = 1;
  }
}

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Visc Cinematica 1:");
visCcinematicav = viscDinamicav/density;
visCcinematicacStv = visCcinematicav*1000000;
lcd.setCursor(2,1);
lcd.print(visCcinematicacStv,3);
lcd.setCursor(10,1);
lcd.print("cSt");

lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("Visc Cinematica 2:");
visCcinematicau = viscDinamicau/density;
visCcinematicacStu = visCcinematicau*1000000;
```

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

```

lcd.setCursor(2,3);

lcd.print(visCcinematicacStu,3);

lcd.setCursor(10,3);

lcd.print("cSt");

temp1 = 0;
while(temp1 ==0){
  if(teclado4x4(TECLA)=='D'){
    lcd.clear();
    temp1 = 1;
  }
}
}

void giroderecha(int angulo, int dly) {
  for(int i= 0;i < angulo; i++){ //Incrementar de 1 en 1 el angulo que va de 0° hasta el valor del angulo
    Servo_1.write(i);    // Decirle al Servo_1 que se mueva los grados que estan en la variable angulo
    delay(dly);
  }
}

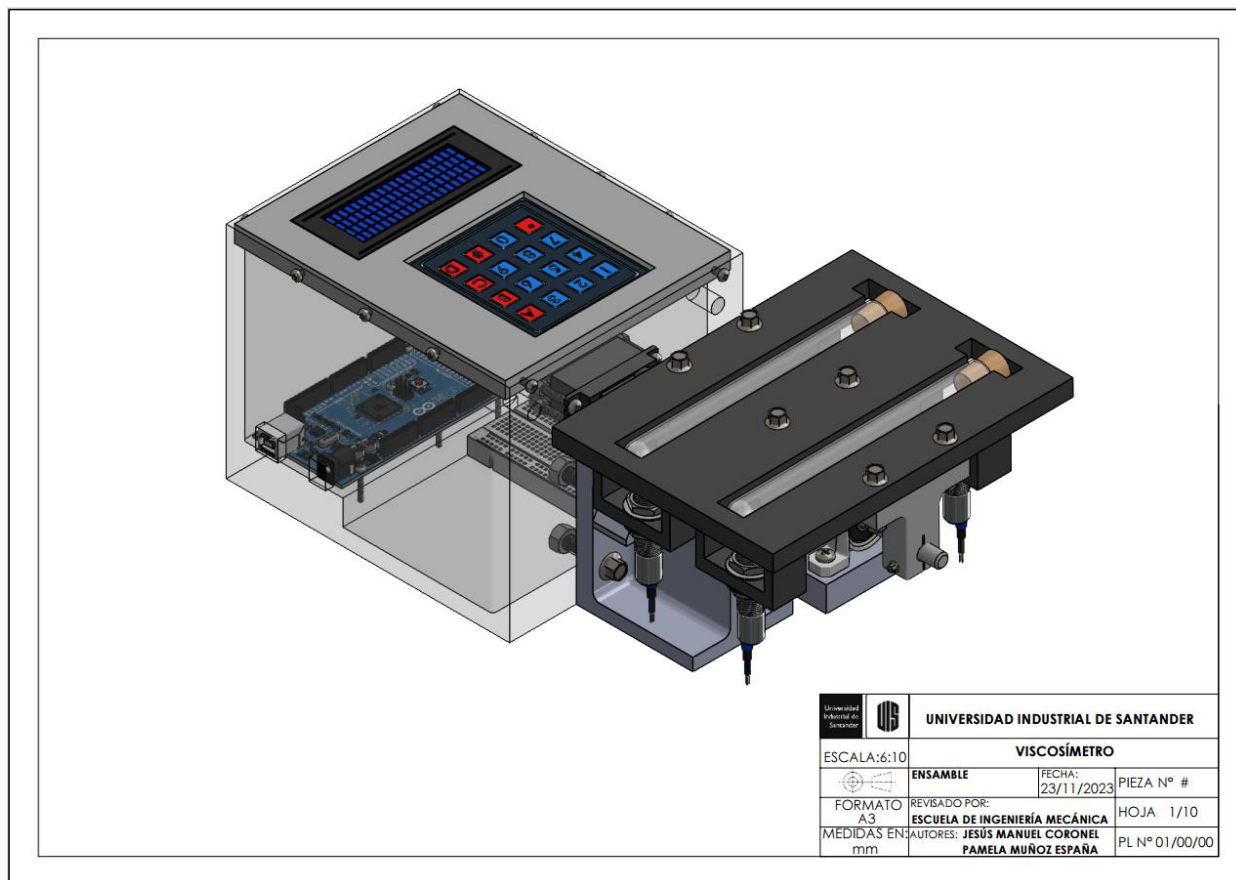
void giroizquierda(int angulo, int dly) {

  for(int i= angulo;i >= 0; i--){ //Incrementar de 1 en 1 el angulo que va del valor del angulo hasta 0°
    Servo_1.write(i);    // Decirle al Servo_1 que se mueva los grados que estan en la variable angulo
    delay(dly);
  }
}

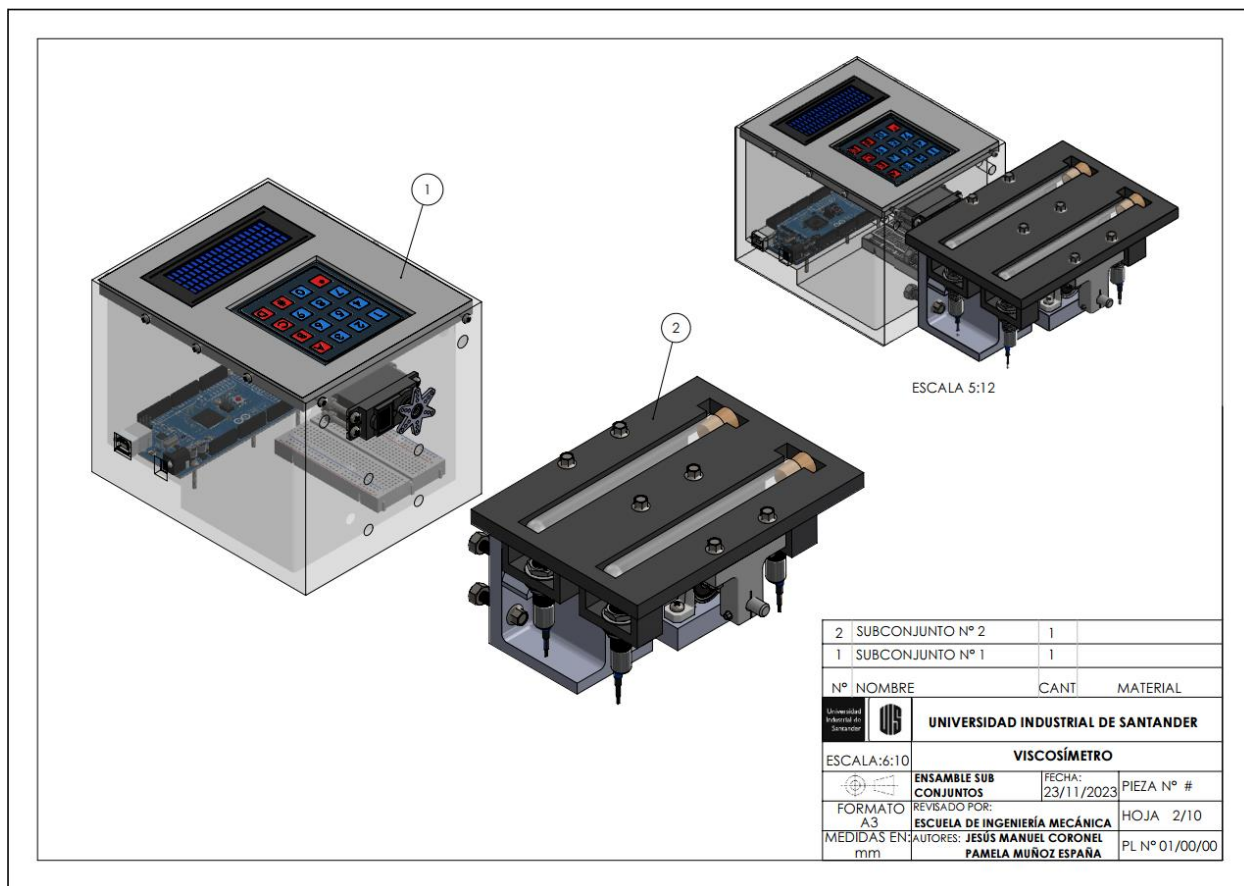
```

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

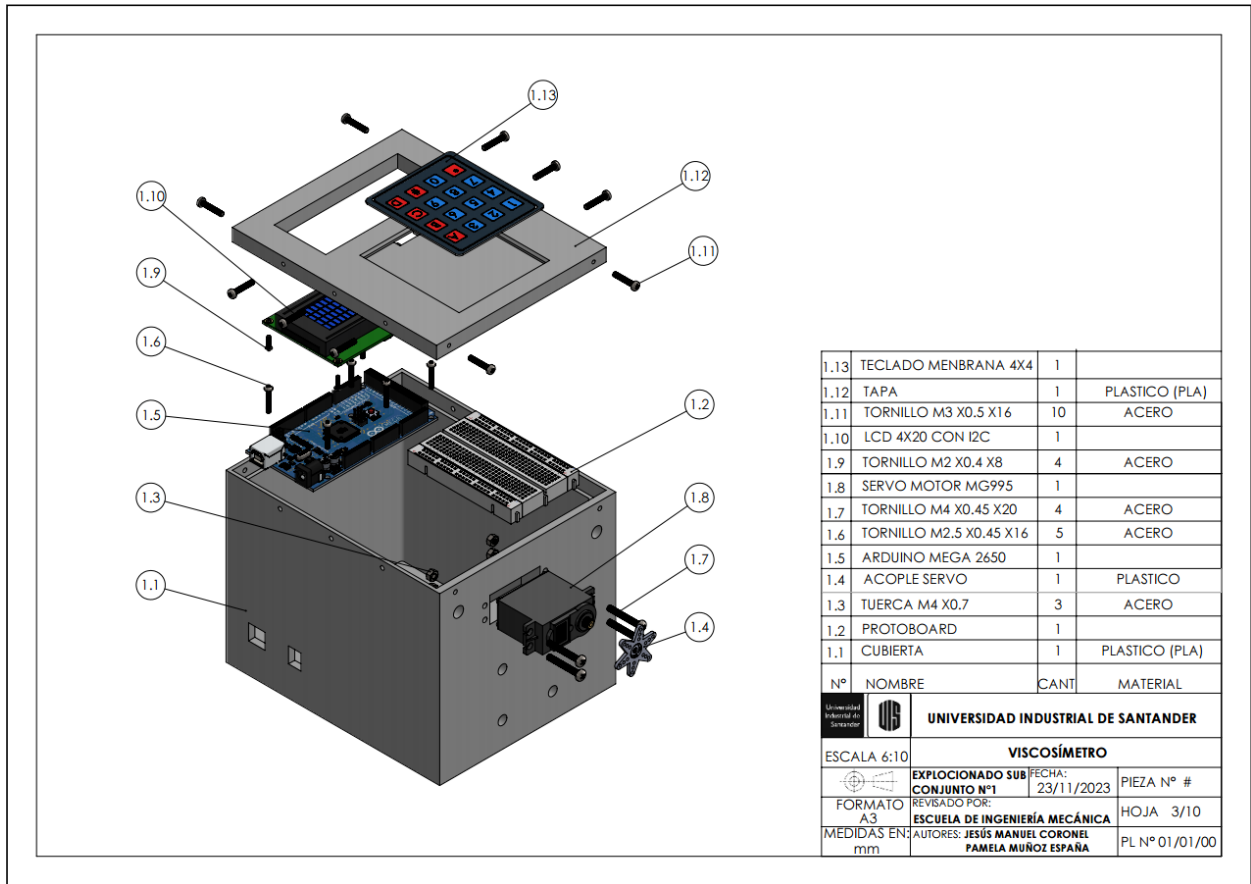
Apéndice B Planos del viscosímetro



IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

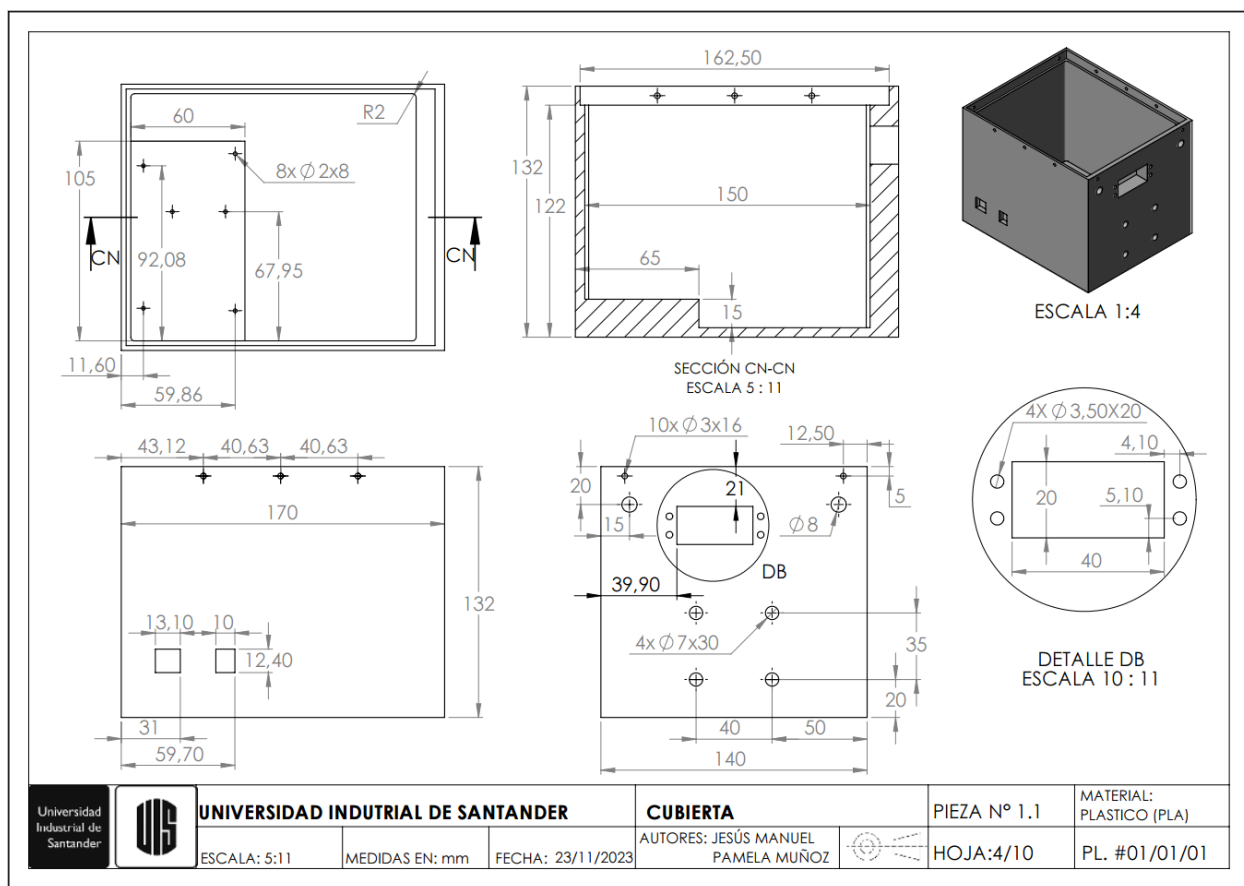


IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



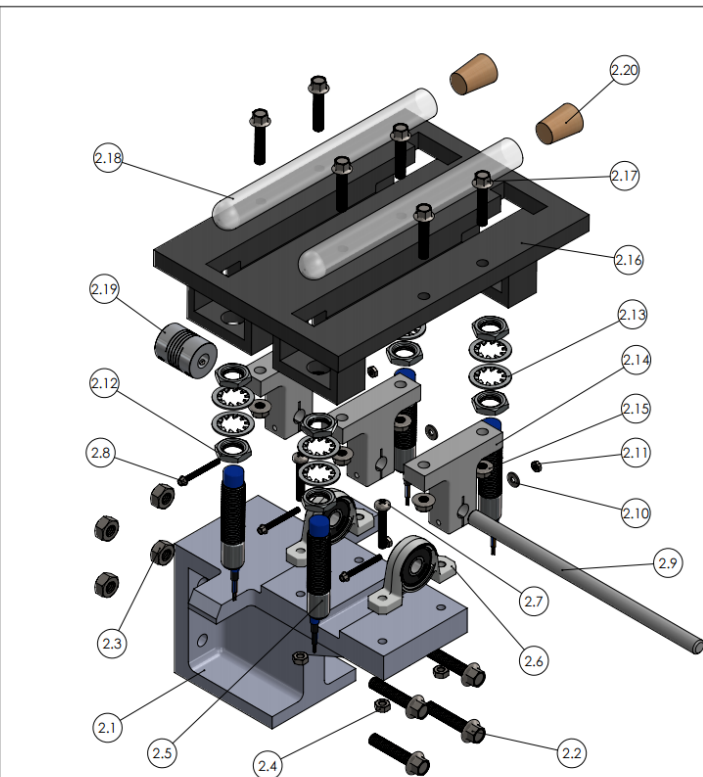
1.13	TECLADO MENBRANA 4X4	1	
1.12	TAPA	1	PLASTICO (PLA)
1.11	TORNILLO M3 X0.5 X16	10	ACERO
1.10	LCD 4X20 CON I2C	1	
1.9	TORNILLO M2 X0.4 X8	4	ACERO
1.8	SERVO MOTOR MG995	1	
1.7	TORNILLO M4 X0.45 X20	4	ACERO
1.6	TORNILLO M2.5 X0.45 X16	5	ACERO
1.5	ARDUINO MEGA 2650	1	
1.4	ACOPLE SERVO	1	PLASTICO
1.3	TUERCA M4 X0.7	3	ACERO
1.2	PROTOBOARD	1	
1.1	CUBIERTA	1	PLASTICO (PLA)
Nº	NOMBRE	CANT	MATERIAL
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
VISCOSÍMETRO			
ESCALA 6:10	EXPLOSIONADO SUB CONJUNTO N°1	FECHA: 23/11/2023	PIEZA N° #
FORMATO A3	REVISADO POR: ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 3/10	
MEDIDAS EN: mm	AUTORES: JESÚS MANUEL CORONEL PAMELA MUÑOZ ESPAÑA	PL N° 01/01/00	

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.




	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			CUBIERTA		PIEZA N° 1.1	MATERIAL: PLASTICO (PLA)
	ESCALA: 5:11	MEDIDAS EN: mm	FECHA: 23/11/2023	AUTORES: JESÚS MANUEL PAMELA MUÑOZ			HOJA: 4/10

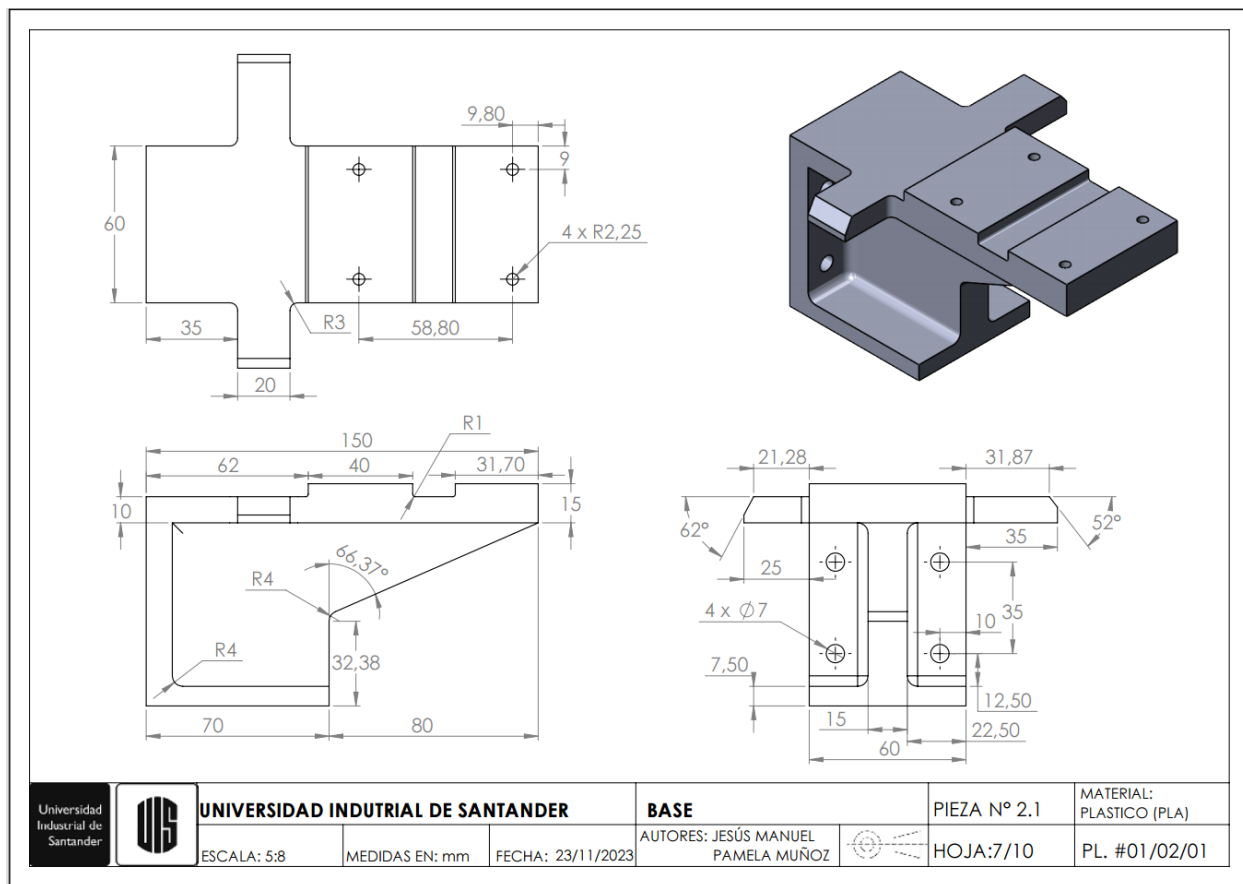
IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



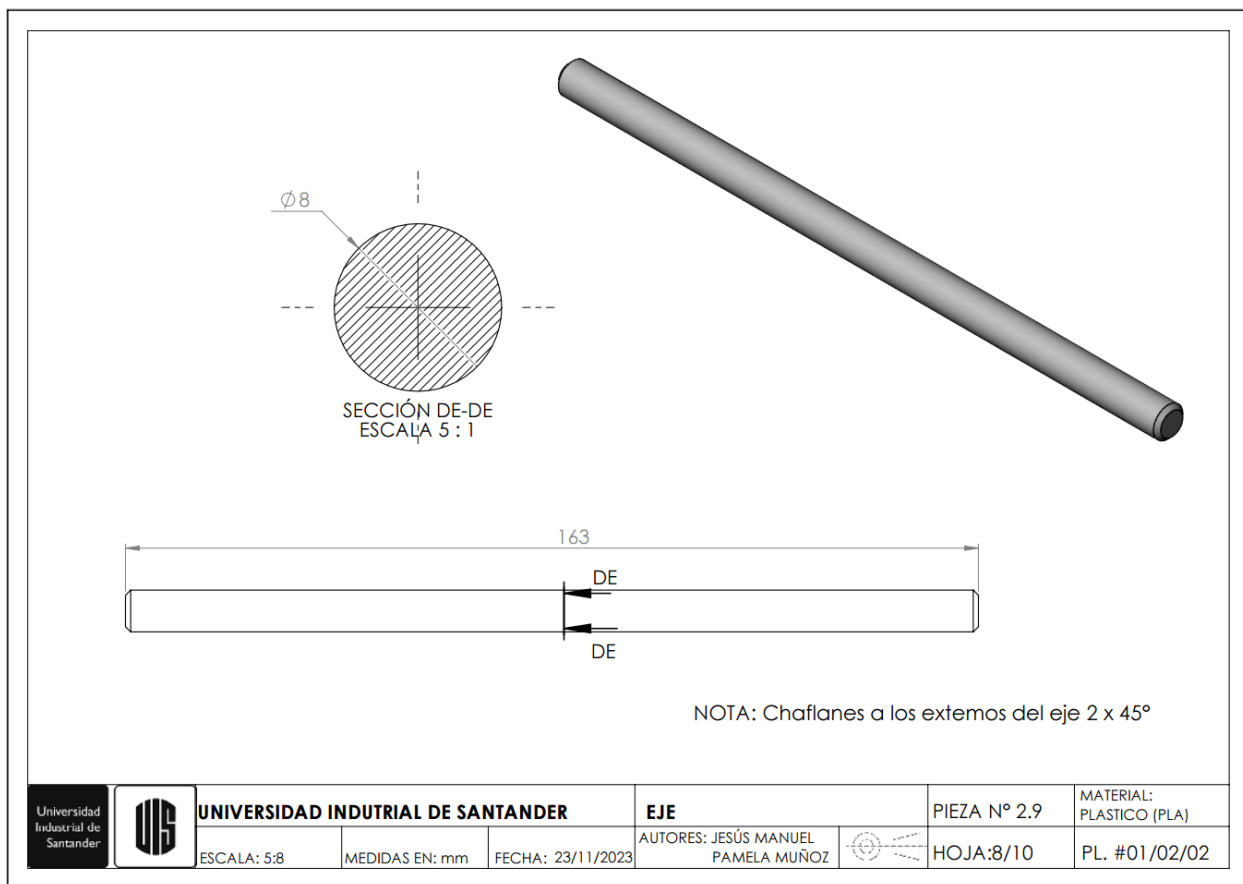
2.20	CORCHO	2	ALUMINIO
2.19	ACOPLE FLEXIBLE	1	CORCHO
2.18	PROBETA 16X150 MM	2	VIDRIO
2.17	TORNILLO M5 X0.8 X25	6	ACERO
2.16	PLATAFORMA	1	PLASTICO (PLA)
2.15	TUERCA M5 X0.8	6	ACERO
2.14	SOPORTE PLATAFORMA	1	PLASTICO (PLA)
2.13	ARANDELA M12	1	ALUMINIO
2.12	TUERCA M12 X0.150	4	ALUMINIO
2.11	TUERCA M2.5 X0.45	3	ACERO
2.10	ARANDELA M2.5	3	ACERO
2.9	EJE	1	ALUMINIO
2.8	TORNILLO M2.5 X0.45 X25	3	ACERO
2.7	TORNILLO M4 X0.7 X25	4	ACERO
2.6	CHUMACERA KPO8	2	ALUMINIO
2.5	SENSOR INDUCTIVO	4	
2.4	TUERCA M4 X0.7	4	ACERO
2.3	TUERCA M6 X0.25	4	ACERO
2.2	TORNILLO M6 X1 X30	4	ACERO
2.1	BASE	1	PLASTICO (PLA)

Nº	NOMBRE	CANT	MATERIAL
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
VISCOSÍMETRO			
ESCALA: 2:3	EXPLOSIONADO SUB CONJUNTO N°2	FECHA: 23/11/2023	PIEZA N° #
FORMATO A3	REVISADO POR: ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 6/10	
MEDIDAS EN mm	AUTORES: JESÚS MANUEL CORONEL PAMELA MUÑOZ ESPAÑA		PL N° 01/02/00

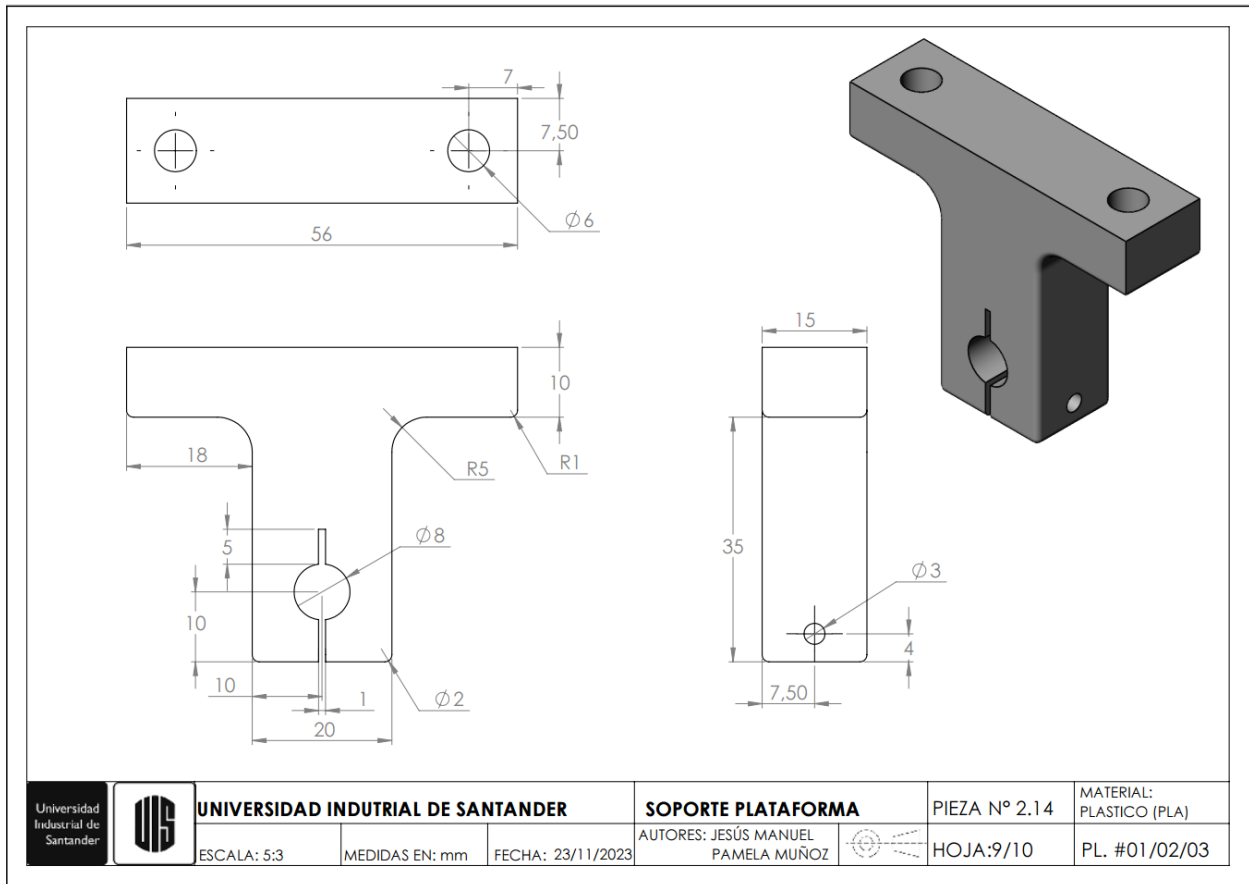
IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



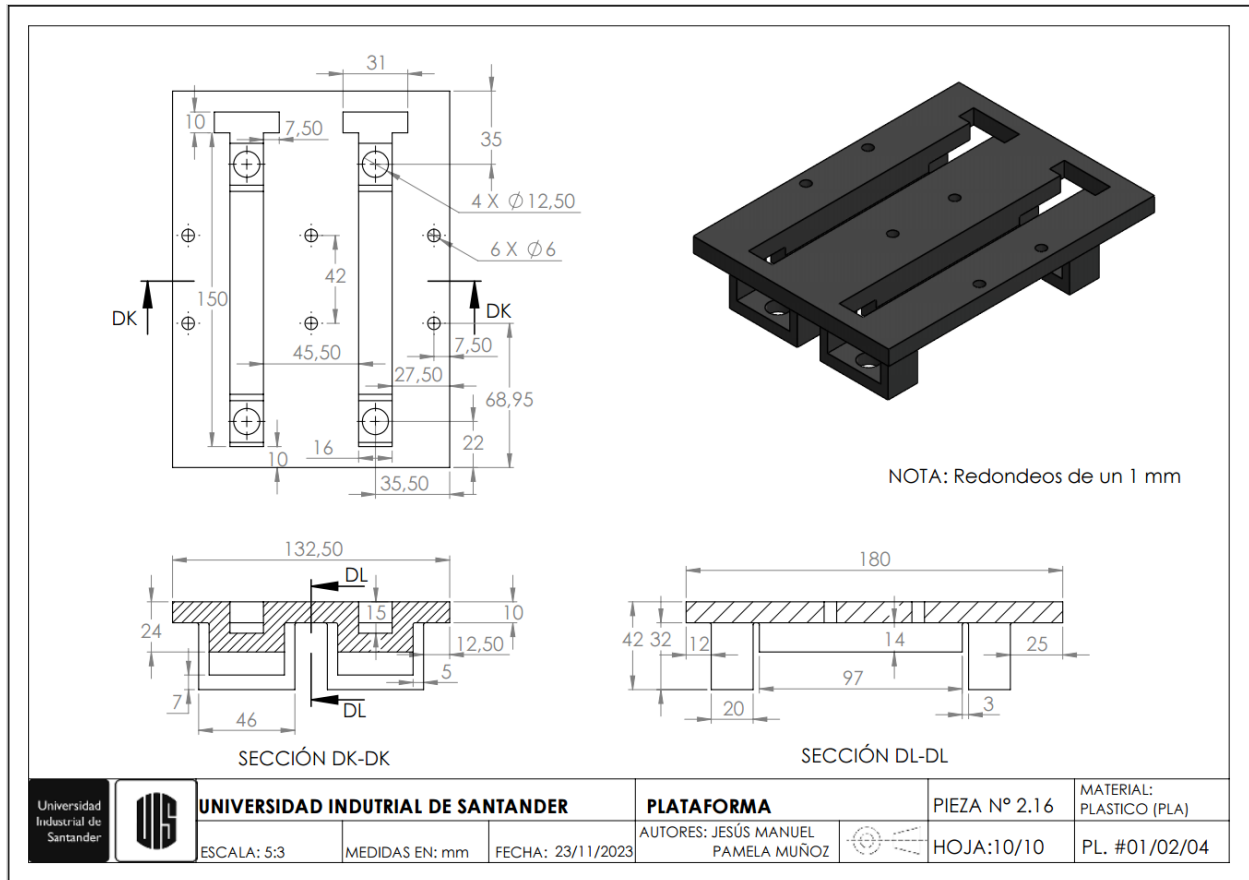
IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Apéndice C Guía rápida de uso de viscosímetro



GUÍA DE USO RÁPIDO PARA VISCOSÍMETRO



FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

2024

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

1. CONTENIDO DE LA CAJA

- Viscosímetro
- Cable de datos USB-A a USB-B
- Fuente de alimentación 5V – 2A
- Termómetro digital
- Recipiente de vidrio
- 6 probetas de 16x150 mm
- 6 corchos

2. ¿QUE ES UN VISCOSÍMETRO?

Un viscosímetro es un dispositivo utilizado para medir la viscosidad de un fluido, una propiedad física que describe la resistencia interna del fluido al fluir o al cambio de forma. La viscosidad es una medida importante en numerosos campos de la ciencia, la ingeniería y la industria, ya que afecta directamente al comportamiento y rendimiento de los fluidos en una amplia gama de aplicaciones.

3. ¿CÓMO FUNCIONA EL VISCOSÍMETRO?

En este caso el viscosímetro funciona usando La Ley de Stokes, desarrollada por el físico británico Sir George Stokes en el siglo XIX, es un principio fundamental en la física de fluidos que describe la fuerza de arrastre experimentada por un objeto que se mueve a través de un fluido viscoso, como aire o agua, a velocidades bajas. Esta ley es crucial para comprender cómo los objetos interactúan con los fluidos y tiene una amplia gama de aplicaciones en campos como la física, la biología y la ingeniería.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Se toma el tiempo de caída de la esfera atreves del aceite y se usa para calcular su velocidad limite, posteriormente se encuentra la viscosidad dinámica del aceite y con esta al dividirla sobre su densidad podemos hallar la viscosidad cinemática.

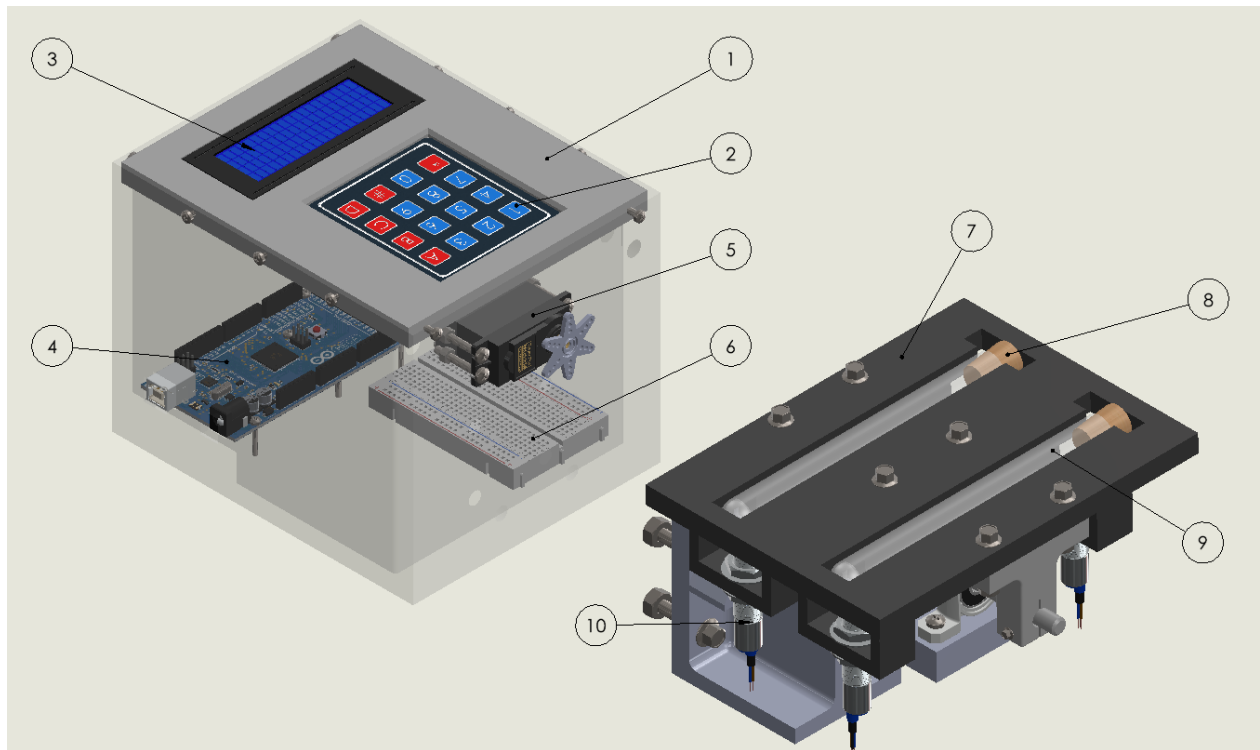
4. USO BÁSICO

- Se realizará la extracción de las muestras de aceite lubricante SAE (20W-50,10W-40,5W,40) que se deseen analizar, se pondrán dentro de las probetas, colocando adentro la esfera metálica y finalmente tapando herméticamente la probeta.
- Se conectará el viscosímetro a la fuente de alimentación de 5V-2A o al computador mediante el cable USB-A a USB-B.
- Se enciende el viscosímetro y se selecciona el tipo de aceite que se va a medir.
- Se ingresan las probetas al viscosímetro, y el angulo de inclinación en el cual se va a medir.
- Una vez finalizada la medición se muestra en la pantalla la viscosidad dinámica y la viscosidad cinemática.
- Posterior mente se ingresa a la página web del viscosímetro mediante el siguiente enlace en el cual se inicia sesión con su respectivo usuario y contraseña.
- Una vez se tenga acceso a la página web registra la información del usuario, así como el dato de viscosidad proporcionado por el viscosímetro, dicha información queda almacenada en la base de datos pudiendo ser revisada en cualquier momento posterior al análisis de la muestra.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

6. PARTES PRINCIPALES DEL VISCOSÍMETRO

A continuación, se presentan las partes principales que conforman el viscosímetro.



1. **Cubierta , base y plataforma:** Se encarga de almacenar, y soportar los demás componentes electrónicos que conforman el viscosímetro, se encuentra fabricado en (PLA) impreso en 3D.
2. **Teclado de membrana 4x4:** Es un dispositivo de entrada el cual nos permite interactuar con la interfaz del viscosímetro.
3. **Pantalla LCD 20x4:** Es un dispositivo de salida el cual podemos observar el estado actual del viscosímetro, así mismo los resultados obtenidos sobre la viscosidad.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

4. **Arduino Mega 2650:** El Arduino Mega 2560 es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega2560. Ofrece 54 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 15 pueden ser utilizados como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie hardware), un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, una toma de corriente, un conector ICSP y un botón de reinicio.
5. **Servo motor MG995:** El servo motor MG995 es un motor usado en aplicaciones de modelismo, robótica y control de sistemas. Este servo motor es conocido por su alto torque y su amplio rango de movimiento angular, lo que lo hace adecuado para una variedad de proyectos. El MG995 suele operar con una tensión de alimentación de 4.8 a 6 voltios y puede girar hasta 180 grados, en este caso se encarga de proporcionar la inclinación a la plataforma.
6. **Protoboard:** Es una placa con perforaciones conectadas eléctricamente entre sí, con la cual podemos realizar pruebas de conexiones sin necesidad de soldar.
7. **Plataforma:** En este caso es la encargada de soportar las probetas y darles su inclinación, está construida en (PLA) impresa en 3D.
8. **Corcho:** Es el encargado de realizar un sello hermético en la probeta evitando derrames de aceites lubricante.
9. **Probeta 16x150mm:** Es el recipiente el cual contiene el aceite lubricante a medir, así mismo la esfera metálica.
10. **Sensor de proximidad inductivo:** es un dispositivo utilizado para detectar la presencia de objetos metálicos sin contacto físico. Opera mediante el principio de inducción electromagnética, generando un campo magnético de alta frecuencia que se ve afectado por la presencia de materiales conductores como metales, y será el encargado de medir la posición de la esfera.

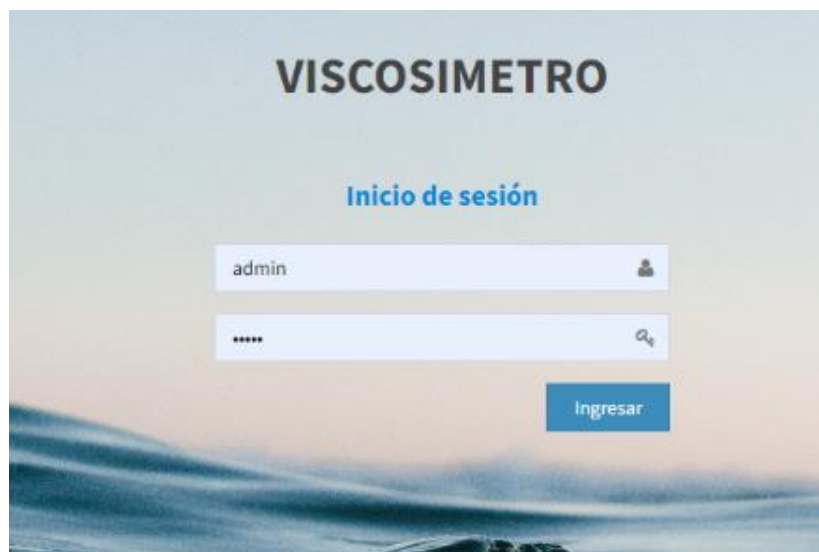
7. PÁGINA WEB

7.1 Inicio de Sesión

La página de inicio de sesión es la puerta de entrada a la plataforma en línea del viscosímetro, consta de dos campos principales: uno para ingresar el nombre de usuario y otro para la contraseña. Estos campos están diseñados para recopilar la información necesaria para autenticar al usuario y permitirle acceder a su cuenta personalizada.

1. **El primer campo:** es para el nombre de usuario o dirección de correo electrónico Aquí, el usuario ingresa la identificación única asociada a su cuenta.
2. **El segundo campo:** es para la contraseña: Este campo generalmente está oculto para proteger la seguridad de la contraseña del usuario. Cuando el usuario ingresa su contraseña, los caracteres aparecen como puntos o asteriscos para mantenerla privada
3. Clic en el botón de "Iniciar sesión" o "Acceder", que el usuario debe presionar una vez que haya ingresado sus credenciales para iniciar el proceso de autenticación y acceder a su cuenta.

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.



7.2 Módulos de la página del viscosímetro



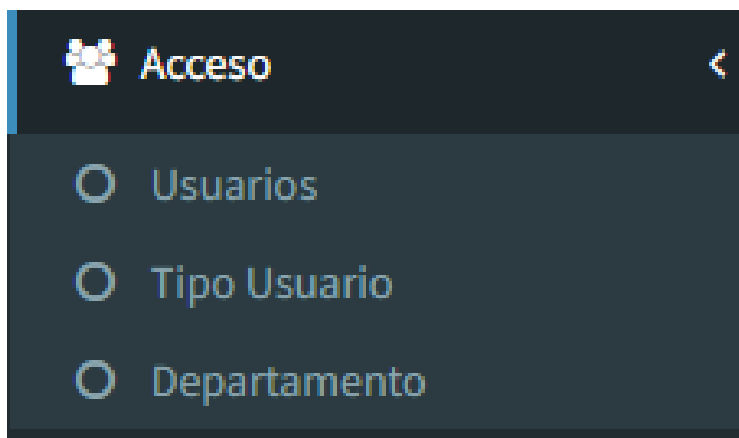
Esta herramienta de navegación facilita el acceso a los tres módulos esenciales de nuestra plataforma: Escritorio, Acceso y Registros.

Escritorio: Este módulo le lleva de vuelta al inicio, sirviendo como su puerta de entrada a todas las funcionalidades y recursos principales de nuestra plataforma.

Acceso: Aquí reside la gestión de usuarios y tipos de usuario. Este módulo le permite crear, modificar y eliminar cuentas de usuario, así como definir los distintos roles y

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

privilegios asociados a cada tipo de usuario. Desde la creación de nuevos perfiles hasta la asignación de permisos específicos, tiene el control total sobre quién puede acceder a nuestra plataforma y qué pueden hacer una vez dentro.



Usuarios: en este módulo tenemos la lista de los usuarios que se encuentran en el sistema creados como la opción de añadir nuevos usuarios.

Usuarios +

Nombre	Apellidos	Login	Email	Foto	Fecha/Registro	Estado	Opciones
Jesus	Coronel	jesus	jesuscoronel@outlook.com		2023-10-23 03:20:26	Activado	
Cristina	Munoz España	admin	viscosimetro@gmail.com		2020-01-18 00:00:00	Activado	

Mostrando 1 a 2 de 2 registros

Anterior 1 Siguiente

cuando se da clic en el +, se abre un formulario, el cual permite añadir información para crear un nuevo usuario

IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Usuarios

Tipo usuario(*): seleccione...	Departamento(*): seleccione...
Nombre(*): Nombre	Apellidos(*): Apellidos
Email: email	Login(*): nombre de usuario
Clave de ingreso(*): Clave	Clave de asistencia(*): Clave
Generar	
Imagen: Seleccionar foto	
Guardar Cancelar	

Aquí contamos con dos dropdowns los cuales son Tipo de usuario y departamentos, los cuales pueden crecer dependiendo en los registros que requiera el usuario.

- **Tipos de usuario:** Tipos de usuario que se encuentran en el sistema son Usuario y Administrador, estos registros pueden ser editados, eliminados y añadir nuevos.

Nombre	Descripcion	Fecha/registro	Opciones
Usuario	Solamente puede hacer registros	2023-10-23 06:30:00	
Administrador	Con privilegios de gestionar todo el sistema	2020-01-18 00:00:00	

Mostrando 1 a 2 de 2 registros

Anterior 1 Siguiente

- **Departamentos:** es la información que nos permite filtrar a que área o rama pertenece el usuario, puede ser un área administrativa o ingeniería, estos registros pueden ser editados, eliminados y añadidos.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Buscar:

Nombre	Descripcion	Fecha/registro	Opciones
Ingeniería	Área de ingeniería	2023-10-23 06:38:07	
Administración	Área de Administración	2020-01-28 21:25:08	

Mostrando 1 a 2 de 2 registros Anterior **1** Siguiente

7.3 Registro

La viscosidad es una propiedad fundamental en numerosas aplicaciones industriales, desde la fabricación de alimentos y bebidas hasta la producción de productos químicos y petroquímicos. La precisión en la medición de la viscosidad es esencial para garantizar la calidad del producto final y optimizar los procesos de producción.

Este formulario proporciona un medio estructurado para registrar los datos de viscosidad obtenidos durante las pruebas, lo que permite un seguimiento eficaz de las variaciones en la viscosidad a lo largo del tiempo y entre diferentes lotes de producción. Además, facilita el análisis de tendencias y la identificación de posibles desviaciones en el rendimiento del proceso.

Buscar:

Equipo	Código de muestra	Punto de muestreo	Responsable	Viscosidad	Viscosidad de aceite virgen	Fecha/Registro	Opciones
Vaso precipitado	S-231018-000001	Gasoducto Américas	Ecopetrol	250	1000	2023-12-13 12:40:48	
Motof3	0001			1000	500	2024-01-18 14:26:49	

Mostrando 1 a 2 de 2 registros Anterior **1** Siguiente

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO.

Registro de viscosidad

Equipo(*): <input type="text" value="Equipo"/>	Código del equipo(*): <input type="text" value="Código del equipo"/>
Código de la muestra(*): <input type="text" value="Código de la muestra"/>	Fecha: <input type="text" value="dd/mm/aaaa"/>
Punto de muestreo: <input type="text" value="Punto de muestreo"/>	Responsable: <input type="text" value="Responsable"/>
Viscosidad: <input type="text" value="Viscosidad"/>	Viscosidad de aceite virgen: <input type="text" value="Viscosidad de aceite virgen"/>
Tipo de lubricante: <input type="text" value="Tipo de lubricante"/>	Fabricante: <input type="text" value="Fabricante"/>
Número de horas: <input type="text" value="Número de horas"/>	

Se diligencia un formulario que cuenta con la siguiente estructura

Se da clic en graficar y se obtiene la diferencia entre la viscosidad virgen y viscosidad después del número de horas diligenciadas

