

Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2024,
Volumen 8, Número 3.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3

DISEÑO DE UN VISCOSÍMETRO PARA ESTUDIOS DE REOLOGÍA

DESIGN OF A VISCOMETER FOR RHEOLOGY STUDIES

Jaime Antonio Cancho Guisado

Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú

Jose Francisco Moro Pisco

Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú

Jose Julio Rodriguez Figueroa

Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú

Edward José Flores Masias

Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú

Victor Leonardo Soberón Tomasto

Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú

Pierre Anibal Cano Contreras

Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12201

Diseño de un Viscosímetro para Estudios de Reología

Jaime Antonio Cancho Guisado¹jcancho68@gmail.com<https://orcid.org/0000-0002-7476-6979>Universidad Nacional Federico Villarreal
Perú**Jose Francisco Moro Pisco**josemoro17720@gmail.com<https://orcid.org/0000-0003-0061-6932>Universidad Nacional Federico Villarreal
Perú**Jose Julio Rodriguez Figueroa**rofigj@gmail.com<https://orcid.org/0000-0002-3672-1526>Universidad Nacional Federico Villarreal
Perú**Edward José Flores Masias**eflores@unfv.edu.pe<https://orcid.org/0000-0001-8972-5494>Universidad Nacional Federico Villarreal
Perú**Victor Leonardo Soberón Tomasto**victorsoberon09st@gmail.com<https://orcid.org/0009-0001-2708-2312>Universidad Nacional Federico Villarreal
Perú**Pierre Anibal Cano Contreras**pierrecano16@gmail.com<https://orcid.org/0009-0006-9946-2791>Universidad Nacional Federico Villarreal
Perú

RESUMEN

Todo fluido se deforma continuamente por efecto de los esfuerzos cortantes. La viscosidad es una propiedad física de los fluidos, quienes se mueven en diferentes velocidades, en su movimiento se origina la colisión de sus partículas, provocando la ralentización, desaceleración o la resistencia en su desplazamiento. El objetivo del presente trabajo es Diseñar un viscosímetro para facilitar los estudios de Reología de los fluidos, mayores a 480 cP, en el laboratorio de fluidos de la Facultad de Ingeniería Electrónica e informática de la Universidad Nacional Federico Villarreal, obteniendo la caracterización de las propiedades reológicas e identificando la variación de los rangos de temperatura aplicados a los fluidos. Se utilizó la metodología de investigación tomando en cuenta: el ámbito espacial y temporal; el universo, población y muestra del estudio; unidad de análisis del estudio; las técnicas de recolección de datos e instrumentos. Se desarrolló el diseño del viscosímetro de acuerdo con la norma ASTM D3835, utilizándose el programa de diseño mecánico, AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL y para el diseño del mando y la fuerza de la energía eléctrica se utilizó el software CAD e-SIMU. Como resultado se obtuvieron 12 planos en el Sistema ISO E, donde el undécimo plano corresponde al de ensamblado, es el de mayor importancia porque es allí donde se indica el montaje de las piezas diseñadas y el duodécimo plano es el explotado de las piezas y partes, donde se muestran todos los componentes del viscosímetro, considerando su orden de montaje y desmontaje. Luego se analizaron dichos resultados con los ajustes debidos del diseño, tomando en consideración los cálculos de estudios de Ingeniería tanto para el diseño de la estructura, elección de partes que conforman el equipo propuesto y los cálculos para el montaje correspondiente. Para la validación del diseño del viscosímetro se acepta el 3% de error respecto a la comparación realizada con un viscosímetro análogo rotacional, Modelo NDJ4, tipo "A" y se llegó a la conclusión que el viscosímetro diseñado se encuentra dentro de los parámetros de aceptación.

Palabras clave: viscosidad, diseño, viscosímetro, fluidos

¹ Autor principal

Correspondencia: jcancho68@gmail.com

Design of a Viscometer for Rheology Studies

ABSTRACT

Every fluid is continually deformed by the effect of shear stresses. Viscosity is a physical property of fluids, which move at different speeds. Their movement causes the collision of their particles, causing slowing down, deceleration or resistance in their movement. The objective of this work is to design a viscometer to facilitate Rheology studies of fluids, greater than 480 cP, in the fluid laboratory of the Faculty of Electronic and Computer Engineering of the National University Federico Villarreal, obtaining the characterization of the properties rheological measurements and identifying the variation of the temperature ranges applied to the fluids. The research methodology was used taking into account: the spatial and temporal scope; the universe, population and sample of the study; study unit of analysis; data collection techniques and instruments. The design of the viscometer was developed in accordance with the ASTM D3835 standard, using the mechanical design program, AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL, and the CAD software e-SIMU was used to design the control and force of electrical energy. As a result, 12 plans were obtained in the ISO E System, where the eleventh plan corresponds to the assembly, it is the most important because it is there where the assembly of the designed parts is indicated and the twelfth plan is the explosion of the pieces and parts. , where all the components of the viscometer are shown, considering their assembly and disassembly order. These results were then analyzed with the appropriate design adjustments, taking into consideration the calculations of Engineering studies for both the design of the structure, the choice of parts that make up the proposed equipment and the calculations for the corresponding assembly. For the validation of the viscometer design, a 3% error is accepted with respect to the comparison made with an analog rotational viscometer, Model NDJ4, type "A" and it was concluded that the designed viscometer is within the parameters acceptance.

Keywords: viscosity, design, viscosimeter, fluids

*Artículo recibido 10 mayo 2024
Aceptado para publicación: 15 junio 2024*



INTRODUCCIÓN

Este trabajo se presenta el diseño del prototipo de un viscosímetro rotacional análogo para que pueda ser utilizado en el laboratorio de Fluidos en la Facultad de Ingeniería Electrónica e Informática de nuestra Universidad Nacional Federico Villarreal. Este viscosímetro formara parte de los equipos de laboratorio para el análisis de los diferentes fluidos, a partir de los 480 cp, a ser analizados en los diferentes cursos donde se trabajen con fluidos, según nuestra malla curricular.

El prototipo propuesto tiene como finalidad identificar la viscosidad dinámica, a temperatura constante, de líquidos de manera experimental. Consideramos importantes el conocimiento de las características de los fluidos a fin de poder entender el comportamiento de estos durante procesos industriales los cuales podrán ser automatizados por los alumnos de nuestra Facultad de Ingeniería Mecatrónica, en donde los integrantes del presente grupo investigador, nos desarrollamos como docentes.

“La realización de este proyecto surge de la necesidad existente en las Facultades de Ingeniería de contar con un equipo capaz de efectuar mediciones de Viscosidad de los fluidos” (Salcedo et al., 2013, p.387).

El viscosímetro es un dispositivo que se utiliza para medir la resistencia viscosa de un fluido. Consiste en un móvil impulsado por un motor a través de un resorte calibrado, cuya torsión se indica mediante un puntero en un dial o una pantalla digital. La resistencia viscosa del fluido, indicada por la compresión del resorte interno, es proporcional a la velocidad de rotación de la aguja y se relaciona con el tamaño y forma del móvil. El rango de medición varía según el tamaño y la velocidad del móvil utilizado. Para todos los modelos de viscosímetro, el rango mínimo se obtiene utilizando el móvil más grande a la velocidad más alta y el alcance máximo se obtiene utilizando el móvil más pequeño a la velocidad más baja. Las mediciones realizadas con el mismo móvil a diferentes velocidades se utilizan para detectar y evaluar las propiedades reológicas. El viscosímetro consta de varios subconjuntos mecánicos, incluyendo un motor de accionamiento y una transmisión de varias velocidades, un resorte de berilio-cobre calibrado, un dial y un eje de pivote. El dispositivo se utiliza para detectar y evaluar las propiedades reológicas del fluido ensayado.

En el estudio de los flujos es importante considerar la tasa de deformación; esta es la variación espacial de la velocidad. Esta da una idea de la rapidez con la que se deforma una porción infinitesimal del material y se mide en 1/s. Finalmente, se define a la viscosidad como el cociente del esfuerzo tangencial

y la tasa de deformación, esta suele medirse en milipascales por segundo (mPa/s) que es equivalente al centipoise (cP). Desde el punto de vista reológico, los líquidos pueden dividirse en dos grupos principales:

- 1 Los líquidos newtonianos son aquellos en los que los esfuerzos tangenciales varían linealmente con la tasa de deformación.
- 2 En los líquidos no newtonianos, debido a la relación existente entre las tasas de deformación, los esfuerzos no están dados por una constante, por lo tanto, su correspondiente viscosidad depende de la tasa de deformación a la que está fluyendo (Feldman et al., 2021, p. 138).

La reología se define como una ciencia que estudia el flujo y deformación de la materia bajo la influencia de una fuerza mecánica. Pertenece a las ramas de la física y química-física, sus variables importantes provienen del campo de la mecánica: las fuerzas, las deflexiones y las velocidades. El origen del término "reología" surge del griego: "Rhein" que significa "fluir", por lo tanto, la reología es "la ciencia del flujo". Sin embargo, los experimentos reológicos no tienen como finalidad la revelación sobre el comportamiento del flujo de líquidos, sino sobre el comportamiento de la deformación de los sólidos. Los reólogos tienen como objetivo medir la deformación y el comportamiento de flujo de una variedad de materias, presentar los resultados obtenidos claramente y explicarlos (Arias-Gilart et al., 2018, p. 414).

Podemos decir que "la reología es la ciencia que estudia el comportamiento de deformación y flujo de la materia, incluidas las propiedades de elasticidad, viscosidad y plasticidad de una masa o cuerpo sometido a tensión" (Silva et al., 2019, p. 285).

Las propiedades reológicas de un material están definidas por la temperatura, la presión, la tensión y la velocidad de corte. Conociendo la magnitud de estos parámetros en los procesos industriales, la viscosidad y las propiedades elásticas, se pueden estudiar en un ambiente de laboratorio, utilizando instrumentos reológicos fundamentales, como los reómetros.

Los resultados se pueden utilizar para estudiar las diferentes propiedades del material, tales como: estabilidad, consistencia, temperatura de fusión, temperatura de endurecimiento, estabilidad a la tensión y peso molecular. También se pueden utilizar para mejorar la calidad del producto y para predecir el impacto de una formulación de producto específica en un proceso industrial (Leite et al., 2013, p. 193). “La reología de los alimentos nos permite estudiar la deformación y las propiedades de flujo de las materias primas sin procesar, los productos intermedios o semielaborados y los productos finales” (Leandro Laguna et al., 2022, p. 228).

La viscosidad mide la resistencia al flujo. En términos mecánicos, se considera como la capacidad de resistencia de un fluido a la deformación gradual por un esfuerzo externo aplicado (Alvarado-Montero et al., 2018, p. 365). La viscosidad es la propiedad de transporte, en función a la temperatura, de los fluidos, “es clave para la caracterización de compuestos puros y de mezclas, así como en el manejo de información para el diseño de procesos industriales y la medición del caudal; su exactitud garantiza la calidad de muchos productos” (Zambrano Carranza, 2014, p. V).

En cuanto a la pulpa de cocona, el estudio de sus propiedades físicas, incluyendo su reología, es necesario para optimizar las diferentes etapas y procesos para su industrialización (Leandro Laguna et al., 2022, p. 227). “El esfuerzo cortante y la viscosidad se incrementan según aumentan los sólidos en pulpas, por ello se necesitará mayor potencia de bombeo; al contrario, disminuyen con el aumento de la temperatura” (Pérez-García et al., 2021, pp, 619-620).

Las propiedades volumétricas, viscosimétricas y termodinámicas de aminoácidos en disolventes mixtos o pseudobinarios y su investigación resultan un tema de gran interés, debido a que diversos procesos biológicos que implican cambios en las propiedades físicas, bioquímicas, biomédicas e industrialmente útiles de estos compuestos, necesitan para su completa comprensión una idea adecuada del estado y el comportamiento de estas moléculas en el medio, además de su importancia en la industria química y farmacéutica (Páez et al., 2019, p. 126).

Las soluciones electrolíticas de tetrafluoroborato de litio en solventes apróticos son frecuentemente utilizados en baterías de alta densidad, tomando como punto principal que los procesos de asociación y solvatación son imprescindibles, el conocimiento de estas interacciones entre partículas de esta solución electrolítica es de suma importancia. La viscosidad es la propiedad que tienen las partículas para lograr

su transporte, por ello se debe evaluar el efecto de la temperatura sobre la viscosidad de soluciones de tetrafluoroborato de litio en los solventes de acetonitrilo y acetona (Dilo et al., 2016, p.761).

Debido al alto precio de comercialización, su alto valor nutritivo y características propias, la miel de abeja puede ser adulterada; “un análisis reológico de la miel de abejas nos permitirá identificar su veracidad o no” (Andrade et al., 2016, p. 4). El avance tecnológico, las herramientas modernas y la aplicación de nueva metodología han permitido un gran avance en la industria del petróleo. En particular, “los estudios reológicos se pueden considerar como los más conocidos y eficaces para estudiar los petróleos parafínicos y asfálticos altamente viscosos” (Laurencio Alfonso et al., 2017, p. 675). Del mismo modo, “en la biomedicina se espera que el uso del viscosímetro tenga aplicaciones futuras, donde se requiera analizar fluidos biológicos, aunque se cuente con muy poca muestra” (Carvajal-Ahumada et al., 2017, p. 54).

“La realización de este proyecto surge de la necesidad existente en las Facultades de Ingeniería de contar con un equipo capaz de efectuar mediciones de Viscosidad de los fluidos, en un amplio rango de temperaturas” (Salcedo et al., 2013, p.387).

METODOLOGÍA

El diseño del viscosímetro planteado se llevará a cabo de acuerdo con la norma ASTM D3835. Para el diseño de partes se utilizará el programa de diseño mecánico, AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL y para el diseño y simulación del mando y la fuerza de la energía eléctrica se utilizará el software CAD e-SIMU, luego se analizarán los resultados con los ajustes debidos del diseño. Además, se efectuará los cálculos de estudios de Ingeniería tanto para el diseño de la estructura, elección de partes que conforman el equipo propuesto y los cálculos debidos para el montaje correspondiente.

Los materiales para utilizar en el presente proyecto de investigación son los siguientes:

- Base resistente con accesorio de nivelación la para fijación.
- 1/4 plancha: Acero inoxidable 1,0 mm de espesor
- Motor eléctrico de baja velocidad y alto torque.
- Husillo rotacional con elemento de medición en el extremo.
- Dial analógico con escala para la medición de velocidad angular.
- Sistema de transmisión mecánica para conectar el motor al eje rotacional.

- Sistema de control de velocidad y apagado.
- Cabezal con protección para el motor y los componentes eléctricos.

Así mismo, la metodología utilizada para el presente Proyecto de Investigación consiste en siete fases: definición de objetivos y requerimientos, ideación y bosquejo, creación del prototipo, evaluación del prototipo modelo, creación del prototipo representativo, evaluación del prototipo y validación del prototipo.

Para que el prototipo cumpla con su propósito como corresponde se tomó en consideración el modelado el cual permitió acceder al diseño exclusivo desde el momento que fue aprobado dicho Proyecto y tomando en cuenta las escalas 1:1; 1:2; 1:5; 1:10 y 2:1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio de ingeniería

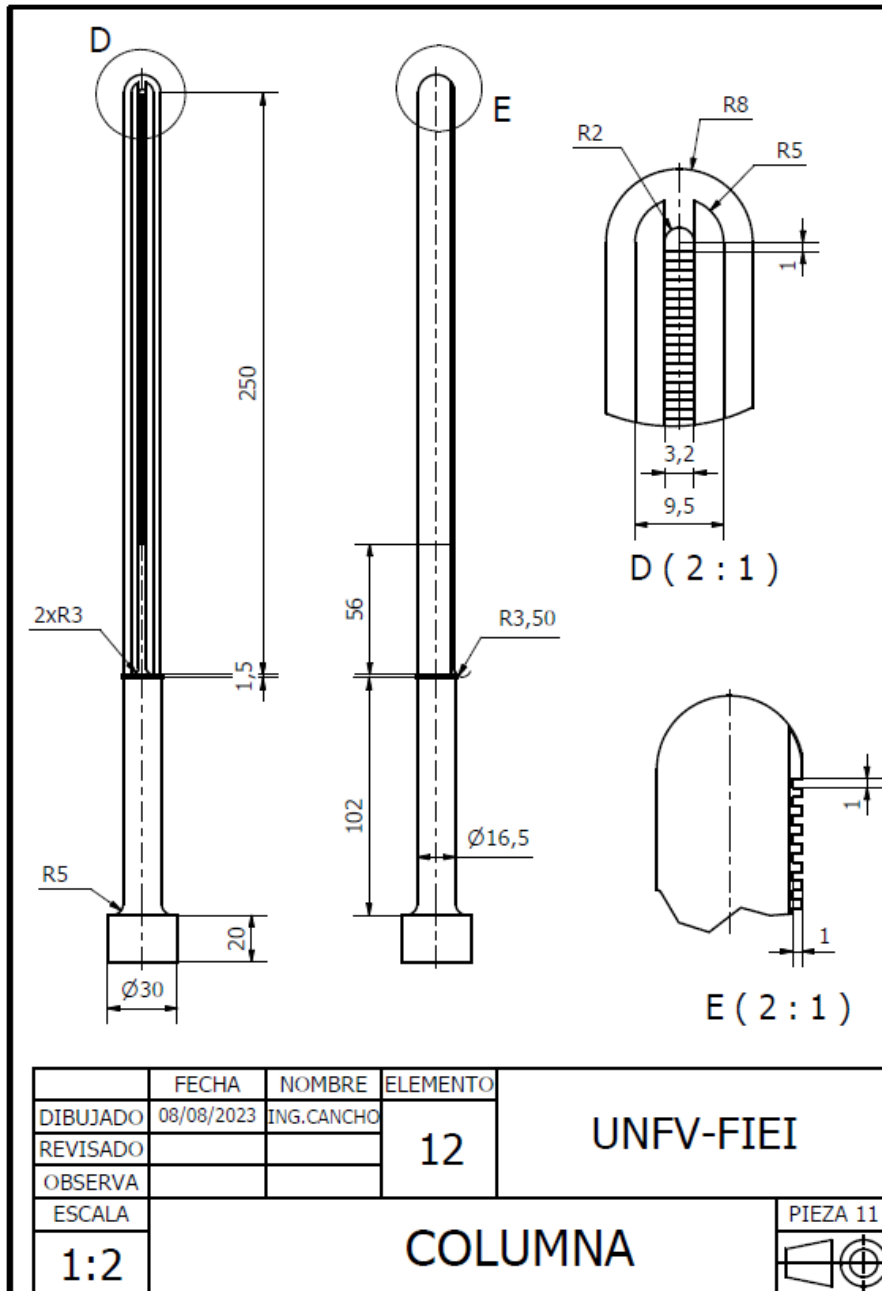
A través de la aplicación de conocimientos y actividades se lograron definir los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto en estudio y para ello se alcanzaron el cumplimiento de los estándares necesarios como punto de partida para conseguir la creación del diseño del prototipo.

Consideraciones

La escala del dial debe estar calibrada previamente utilizando líquidos de referencia con viscosidades conocidas.

El motor debe ser lo suficientemente potente para generar un rango de velocidades angulares adecuado para medir una amplia gama de viscosidades. El sistema de transmisión mecánica debe ser preciso y debe estar bien centrado para minimizar las oscilaciones que podría afectar las mediciones. Se tienen 4 husillos intercambiables para poder medir fluidos de diferentes viscosidades y se tiene que considerar la seguridad eléctrica y mecánica al diseñar el prototipo.

Figura 1. Husillos para columna



Planteamiento de diseño del prototipo viscosímetro

Se plantea el diseño del prototipo de un viscosímetro análogo de dial, considerando la norma ASTM D3835, para el diseño de las partes y piezas se ha utilizado el software Autodesk Inventor, con el cual también se realizaron los análisis de diseño respectivo.

Figura 2. Perfil del viscosímetro

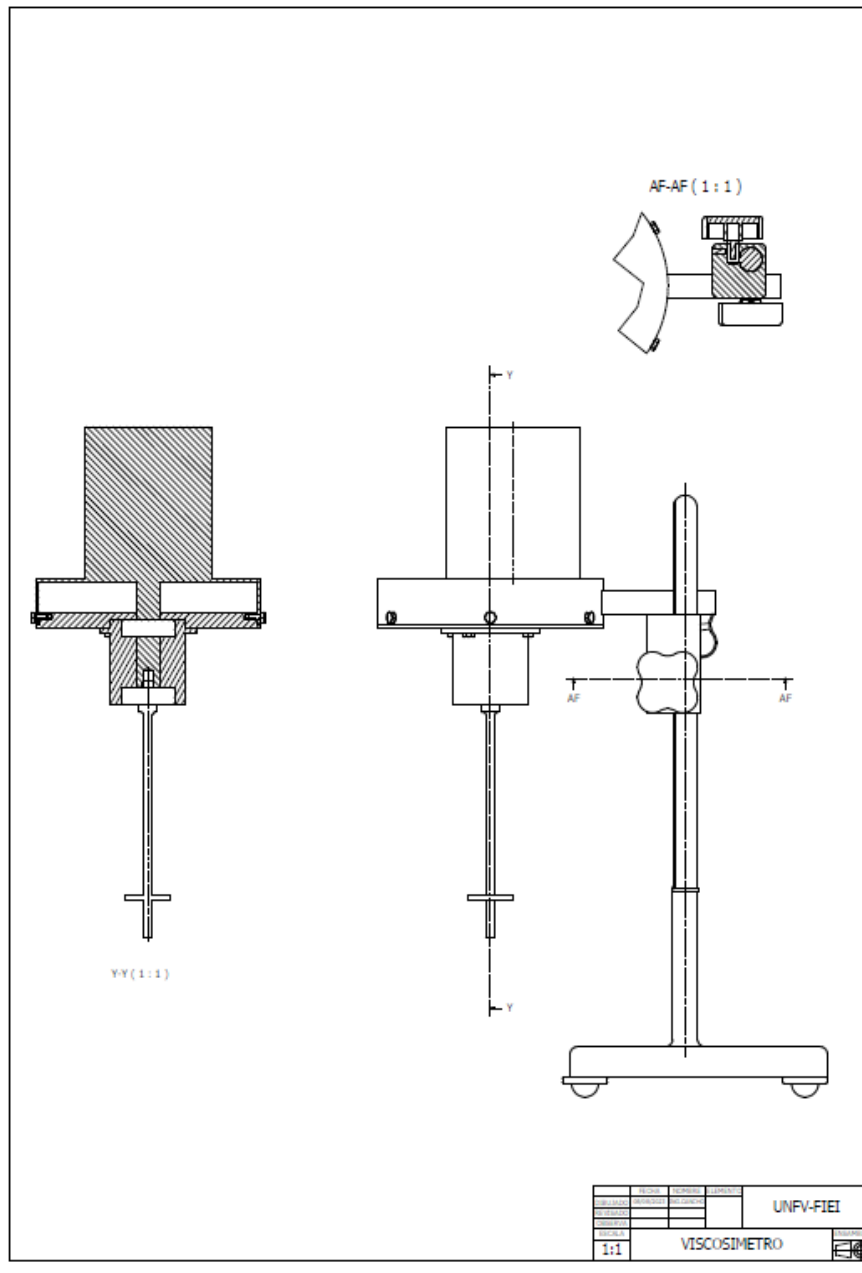
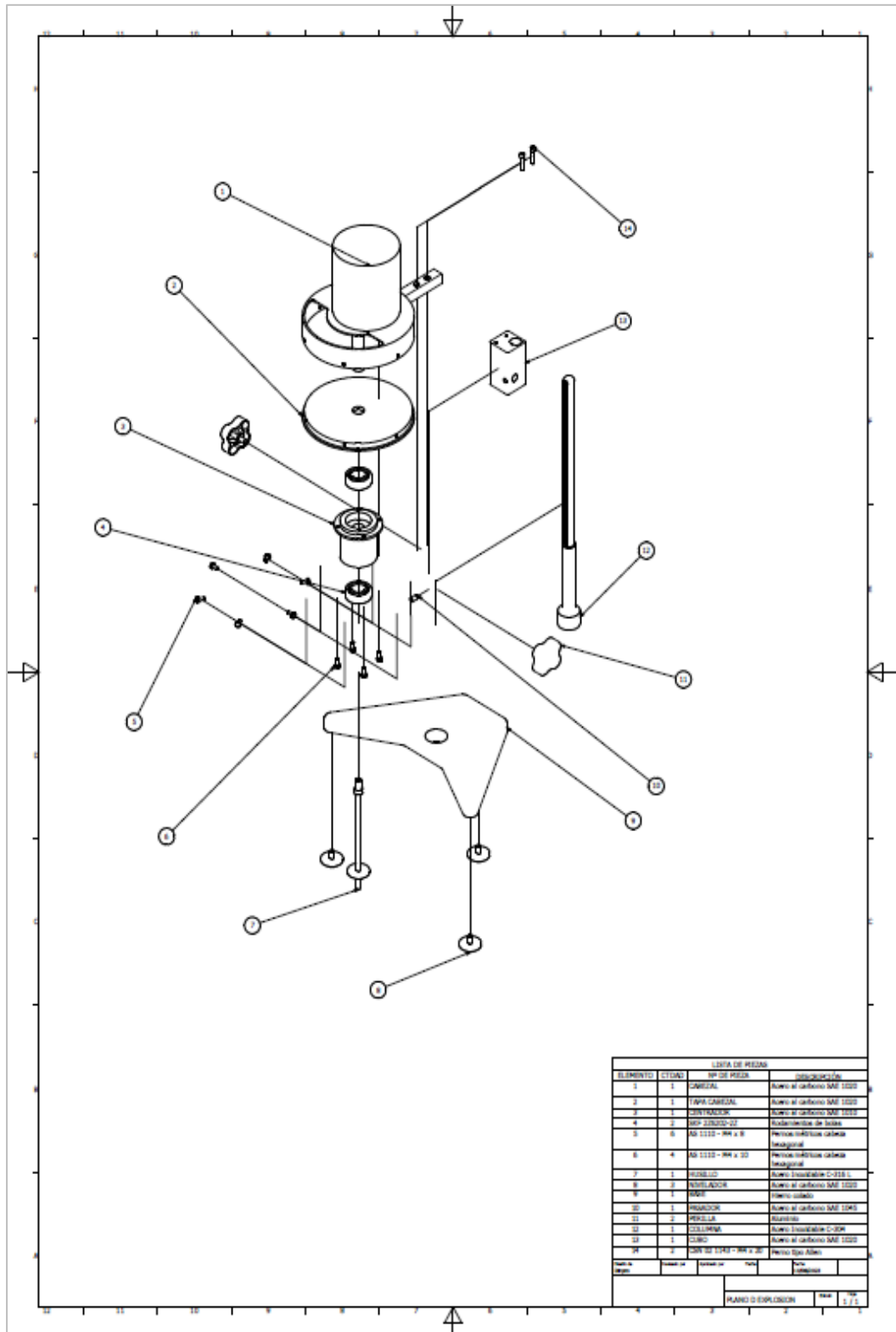


Figura 3. Despiece del viscosímetro



Según el diseño establecido, los planos se construyeron satisfactoriamente utilizando el programa de diseño mecánico AUTODESK Inventor Professional 2022, conociendo las piezas y componentes comerciales en el mercado nacional y aplicando las Normas ISO E. Por lo tanto, se utilizaron escalas

de dibujo normalizadas como 1:1 , 1:2 , 1:5 , 1:10 y 2:1. De manera similar, se utilizó el software CADe SIMU para crear el plano eléctrico.

Seguidamente se obtuvieron la presentación de los planos, tales como:

- Plano de Explosionado. 01 plano, conformado por 13 piezas.
- Plano de Ensamblado. 01 plano general conformado por 13 piezas
- Plano de Despiece. 11 planos del total de las piezas del Prototipo que se van a fabricar.
- Plano de instalación eléctrica. 01 plano de mando y fuerza.

Por lo tanto, los hallazgos del presente estudio pueden servir como base para investigaciones futuras que involucren la creación de viscosímetros con las características sugeridas. El software AUTODESK Inventor Professional 2022 se utilizó porque está especializado en el diseño de piezas y componentes mecánicos y también puede presentar los diferentes planos necesarios para la construcción del viscosímetro según las escalas utilizadas como corresponde. Debido a que es un simulador de funcionamiento de circuitos eléctricos, se utilizaron el software CAD y SIMU.

De esta manera, se crea la presentación del despiece para mostrar la cantidad total de piezas que se utilizarán para construir el viscosímetro. Para mostrar el conjunto final del montaje del prototipo, se realiza la presentación del ensamblado. El plano de las piezas también sirve como presentación para indicar las medidas precisas que se utilizarán en cada pieza para la construcción posterior del viscosímetro. De manera similar, se determinó que las escalas utilizadas eran apropiadas para su mejor presentación e interpretación. Además, se emplearon las Normas ISO E debido a que son aceptadas por las normas técnicas peruanas que especifican.

CONCLUSIONES

El objetivo del proyecto era Diseñar un viscosímetro para facilitar los estudios de Reología de los fluidos, mayores a 480 cP en el laboratorio de fluidos de la Facultad de Ingeniería Electrónica e informática de la Universidad Nacional Federico Villarreal, obteniendo la caracterización de las propiedades reológicas e identificando la variación de los rangos de temperatura aplicados a los fluidos. Utilizando el programa de diseño mecánico AUTODESK Inventor Profesional 2022 y cumpliendo con la norma ASTM D3835, el prototipo se desarrolló satisfactoriamente según las especificaciones establecidas.



Después de completar satisfactoriamente el diseño del viscosímetro, se recomienda continuar investigando para obtener nuevas informaciones que son de gran importancia tanto para la investigación científica como para la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética, de pinturas y petrolera.

En resumen, los viscosímetros son herramientas esenciales para la reología porque permiten medir la viscosidad de los fluidos, ya que esta propiedad es fundamental para comprender su comportamiento y para comprender sus aplicaciones en una variedad de campos industriales y científicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alvarado-Montero, H. R., Monge-Montero, C., Vargas, M. S., Lutz, G., Mata-Segreda, J. F., Alvarado-Montero, H. R., Monge-Montero, C., Vargas, M. S., Lutz, G., & Mata-Segreda, J. F. (2018). Absence of a molecular structural effect on the thermodynamic properties of several biodiesel materials. *Cuadernos de Investigación UNED*, *10*(2), 362-367. <https://doi.org/10.22458/urj.v10i2.1988>
- Andrade, R. D., Torres, R., & Pérez, A. M. (2016). Efecto de la Adición de Jarabes de Sacarosa y Fructosa en el Comportamiento Reológico de Miel de Abejas. *Información tecnológica*, *27*(1), 03-08. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000100002>
- Arias-Gilart, R., Falcón-Hernández, J., Campos-Sofía, M., Silveira-Font, Y., & López-Galarza, Ó. (2018). Efecto del tratamiento magnético en el comportamiento reológico del diésel. *Tecnología Química*, *38*(2), 412-427.
- Carvajal-Ahumada, L. A., Serrano-Olmedo, J. J., Pazos-Alonso, J. E., García-Fox, M. A., Herrera-Sandoval, O. L., Carvajal-Ahumada, L. A., Serrano-Olmedo, J. J., Pazos-Alonso, J. E., García-Fox, M. A., & Herrera-Sandoval, O. L. (2017). Diseño y Evaluación de un micro viscosímetro de bajo costo utilizando un resonador de cristal de cuarzo y Arduino. *ORINOQUIA*, *21*, 45-55. <https://doi.org/10.22579/20112629.430>
- Dilo, M., Casals-Hung, M., & J. B. de Assis, J. (2016). Efecto de la temperatura y la concentración sobre la viscosidad de soluciones diluidas de tetrafluoroborato de litio en acetona y acetonitrilo. *Revista Cubana de Química*, *28*(3), 760-770.
- Dym, C. y Little, P. (2002). El proceso de diseño en ingeniería. Como desarrollar soluciones efectivas (1ra ed.). Editorial Limusa Wiley



- Feldman, L. J., Diez, J. A., Najle, R., & González, A. G. (2021). Efectos hemorreológicos de los glóbulos rojos y sus implicancias en la salud. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 55(2), 137-150.
- Laurencio Alfonso, H., Gilbert Hernández, A., Retirado Mediaceja, Y., Laurencio Alfonso, H., Gilbert Hernández, A., & Retirado Mediaceja, Y. (2017). Modelado de la viscosidad aparente de un petróleo crudo de 11°API con comportamiento no newtoniano. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 25(4), 674-680. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052017000400674>
- Leandro Laguna, C., Díaz Shuña, J. D., Reátegui Paredes, S., Joel Bazán-Colque, R., Leandro Laguna, C., Díaz Shuña, J. D., Reátegui Paredes, S., & Joel Bazán-Colque, R. (2022). Influencia de la temperatura y concentración de sólidos solubles en el comportamiento reológico de la pulpa de cocona. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(4), 227-235. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.480>
- Leite, P. B., Lannes, S. C. da S., Rodríguez, A. M., Soares, F. A. S. D. M., Soares, S. E., & Bispo, E. da S. (2013). Estudio reológico de chocolates elaborados con diferentes cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Brazilian Journal of Food Technology*, 16, 192-197. <https://doi.org/10.1590/S1981-67232013005000024>
- Páez, M. S., Pérez, D. E., Lafont, J., Páez, M. S., Pérez, D. E., & Lafont, J. (2019). Estudio Volumétrico, Viscosimétrico y Termodinámico de DL-Alanina en Soluciones Acuosas de Sulfato de sodio a diferentes Temperaturas. *Información tecnológica*, 30(2), 125-134. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000200125>
- Pérez-García, L., Hernández-Ramírez, G., Laffita, Q. R., Garcell-Puyáns, L. R., Legrá-Lobaina, A. A., Pérez-García, L., Hernández-Ramírez, G., Laffita, Q. R., Garcell-Puyáns, L. R., & Legrá-Lobaina, A. A. (2021). Influencia del comportamiento reológico de las pulpas lateríticas en la eficiencia de bombeo. *Tecnología Química*, 41(3), 619.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. México: Pearson. Recuperado el 18 de 06 de 2019.
- Hernández, A. 2003. *Microbiología Industrial*. 1era Edición. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia EUNED. Costa Rica.



- Juvinall, R. (1996). Fundamentos de diseño para Ingeniería Mecánica (1ra ed.). Editorial Limusa y Noriega Editores.
- Molina, I. (2009). Comparación de tres estabilizantes comerciales utilizados en la elaboración de yogurt de leche descremada de vaca. Tesis para obtener el grado académico de Licenciada Zootecnista. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Escuela de Zootecnia.
- Montgomery, C. 1991. Diseño y Análisis de experimentos. Grupo Editorial Iberoamericana. México.
- Norton, R. (1999). Diseño de Máquinas (1ra ed.). Editorial Prentice.
- Rodríguez, M. 2010. Efecto de la proporción de sólidos lácteos en la consistencia y aceptabilidad general del yogurt. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional de Trujillo. Facultad de ciencias Agropecuarias.
- Spreer, E. 2000, Lactología Industrial, leche, preparación y elaboración, máquinas, instalaciones y aparatos, productos lácteos. Editorial Acribia S.A. 3° Edición. Zaragoza.
- Wu S., Li D., Li S, Bhandari B., Yang B., Chen X. y Mao Z. 2009. Effects of Incubation Temperature, Starter Culture Level and Total Solids Content on the Rheological Properties of Yogurt. International Journal of Food Engineering.

