

**APROXIMACIÓN AL CONCEPTO DE VISCOSIDAD: UNA  
CONCEPTUALIZACIÓN DESDE LOS FLUIDOS NEWTONIANOS Y NO  
NEWTONIANOS**

*Leidy Johana Vargas Moreno  
Geraldine Lugo Acero*

Línea de Profundización:

La Enseñanza de la Física y su Relación Física-Matemática



*UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
Facultad de Ciencia y Tecnología  
Departamento de Física  
Bogotá 2021*

**APROXIMACIÓN AL CONCEPTO DE VISCOSIDAD: UNA  
CONCEPTUALIZACIÓN DESDE LOS FLUIDOS NEWTONIANOS Y NO  
NEWTONIANOS**

*Leidy Johana Vargas Moreno  
Geraldine Lugo Acero*

TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADAS EN FÍSICA

*Asesora:  
Sandra Bibiana Ávila Torres*

Línea de Profundización:

La Enseñanza de la Física y su Relación Física-Matemática



*UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
Facultad de Ciencia y Tecnología  
Departamento de Física  
Bogotá 2021*

## ***Agradecimientos***

*Agradezco a mis padres por el amor, la paciencia, la confianza y el apoyo incondicional, durante toda mi vida y en especial en mi proceso académico. Infinitas Gracias.*

*A mi hermana por su cariño y la constante motivación, por creer en mí siempre.*

*A mi compañera Leidy por la paciencia, por ser una amiga incondicional, por el apoyo, las noches de desvelo y por las risas, por el desarrollo del presente trabajo.*

*A Daniela Camargo, por ser el apoyo y motivación constante durante el desarrollo de este trabajo de grado, pero también por hacer parte de las buenas experiencias en la maravillosa UPN.*

*A Cristhian Castro, por su amistad, su confianza, su apoyo incondicional y motivación siempre, por creer en mí, por acompañarme en el camino de formación docente, por ser parte de mi vida.*

*Geraldine Lugo Acero*

*Agradezco a mis padres, en especial a mi madre quien con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar hoy a cumplir un sueño más.*

*A mis hermanos por su cariño y palabras de aliento que hicieron de mí una mejor persona con su ejemplo.*

*A la memoria de mi hermano Fabian quien siempre me aconsejo, motivo y apoyo durante todo mi proceso académico.*

*A mi hija por todo su inmenso cariño, apoyo y constante motivación en cada momento de mi vida, por ser parte de este sueño que hoy se convierte en un logro.*

*A mi compañera Geraldine por su amistad incondicional, por ser parte del desarrollo del presente trabajo, pero sobre todo por esos grandes momentos que compartimos juntas en nuestro segundo hogar la UPN.*

*Finalmente agradezco el apoyo a todas aquellas personas que de una u otra forma hicieron parte de mi proceso académico.*

*Leidy Johana Vargas Moreno*

*Agradecemos a nuestra Asesora Sandra Ávila por todo el apoyo y colaboración.*

## CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	6
INTRODUCCIÓN.....	7
<b>CAPÍTULO I: CARACTERIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA DESDE LA ENSEÑANZA DE LOS FLUIDOS.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Planteamiento del Problema.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2 Pregunta Problema.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 Objetivos.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3.1 Objetivo General.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>14</b>
<b>1.4 Antecedentes.....</b>	<b>14</b>
<b>1.5 Metodología.....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO II: UN ACERCAMIENTO HISTÓRICO Y FÍSICO AL CONCEPTO DE VISCOSIDAD.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Sobre la Historia del Estudio de los Fluidos y la Evolución del Concepto de Viscosidad..</b>	<b>19</b>
<b>2.2 Un Acercamiento desde la Descripción Fisicomatemática del Concepto de Viscosidad....</b>	<b>33</b>
<b>2.2.1 A propósito de los fluidos newtonianos.....</b>	<b>33</b>
<b>2.2.2 Una mirada a los fluidos no newtonianos.....</b>	<b>38</b>
<b>2.2.3 A Propósito de los medios continuos.....</b>	<b>41</b>
<b>CAPÍTULO III: PROPUESTA DE ENSEÑANZA PARA EL CONCEPTO DE VISCOSIDAD.....</b>	<b>48</b>
<b>3.1 Presentación de la propuesta.....</b>	<b>50</b>
CONCLUSIONES.....	56
REFERENCIAS.....	58
ANEXOS.....	61
<b>1. ¿Que se quiere que aprendan?.....</b>	<b>61</b>
<b>Sesión IV: Actividad Experimental 2- Mezcla de maicena con agua (fluido no newtoniano) (Anexo 4).....</b>	<b>64</b>
<b>Sesión V: Actividad Experimental 3- Reloj de agua (Anexo 5).....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO 1: Examen de diagnóstico:.....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO 2. Actividad Conceptual 1-Juego de rol: solidos o líquidos.....</b>	<b>69</b>

<b>ANEXO 3. Actividad Experimental 1: Carrera de monedas</b> .....	72
<b>ANEXO 4. Actividad Experimental 2: Mezcla de maicena con agua (fluido no newtoniano).</b>	76
<b>ANEXO 5: Actividad Experimental 3: Reloj de agua</b> .....	79

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 <i>FLUJO CORTANTE SIMPLE, IMAGEN PROPIA. SE TIENE UN LÍQUIDO ENTRE DOS PLACAS CADA UNA DE ÁREA A, SEPARADAS A UNA DISTANCIA L. LA PLACA SUPERIOR SE MUEVE EN RELACIÓN CON LA OTRA PLACA A UNA VELOCIDAD CONSTANTE <math>v</math> DEBIDO A LA ACCIÓN DE UNA FUERZA EXTERNA <math>F</math>, PROVOCANDO QUE LAS CAPAS DE FLUIDO COMIENCEN A FLUIR DEPENDIENDO DE LA CERCANÍA CON LA PLACA INFERIOR.</i> .....	24
FIGURA 2 <i>COMPORTAMIENTO DE LA VISCOSIDAD TENIENDO EN CUENTA EL ESFUERZO DE CORTE Y LA DEFORMACIÓN QUE LA SUSTANCIA PUEDA TENER TOMADA DE MÉNDEZ, 2010.</i> .....	30
FIGURA 3 <i>CLASIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS SEGÚN LA REOLOGÍA, ELABORACIÓN PROPIA (BARNES, A., HUTTON, F., &amp; WALTERS., K. (1989).)</i> .....	31
FIGURA 4 <i>CLASIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS EN LOS DIFERENTES MEDIOS CONTINUOS, ELABORACIÓN PROPIA. (PORRERO, D,(2017).)</i> .....	32
FIGURA 5 <i>CURVA DE FLUIDEZ PARA REPRESENTAR LA VISCOSIDAD DINÁMICA Y APARENTE (GÓMEZ, ANDRADE, SANTOYO Y URQUIZA, 2009).</i> .....	39
FIGURA 6 <i>REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA VARIACIÓN ESPACIO TEMPORAL, IMAGEN PROPIA.</i> .....	42
FIGURA 7 <i>CURVA DE VISCOSIDAD PARA UN FLUIDO DILATANTE, IMAGEN PROPIA.</i> .....	53
FIGURA 8 <i>IMAGEN PROPIA, REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL EXPERIMENTO ANEXO 3, SUSTANCIAS CON LAS QUE SE PRETENDE REALIZAR LA PRACTICA</i> .....	74
FIGURA 9 <i>IMAGEN PROPIA, REPRESENTACIÓN GRÁFICA EXPERIMENTO ANEXO 3, SE DEJAN CAER LAS MONEDAS EN DOS FLUIDOS.</i> .....	74
FIGURA 10 <i>IMAGEN PROPIA, REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL EXPERIMENTO ANEXO 4, MEZCLA FLUIDO NO NEWTONIANO</i> .....	77
FIGURA 11 <i>IMAGEN PROPIA, REPRESENTACIÓN GRÁFICA EXPERIMENTO ANEXO 5, CARRERA DE GOTAS</i> .....	80

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de grado parte del interés por indagar alrededor de los procesos de enseñanza-aprendizaje de la física, principalmente aquellos donde se abordan los conceptos desde contexto histórico y a la vez que se realiza un análisis disciplinar; este tipo de acercamientos pueden permitir, tanto al estudiante como al maestro, la construcción de relaciones entre el conocimiento y las experiencias significativas adquiridas en la cotidianidad, a la par con sus conocimientos previos.

En este sentido es importante reconocer la relevancia del contexto histórico para la enseñanza-aprendizaje de las diversas teorías o conceptos, como sugiere María Mercedes Ayala en el texto “Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades.”

*Para lograr una comprensión funcional (habilidad para hacer el razonamiento requerido para aplicar los conceptos a situaciones nuevas) o un aprendizaje significativo se requiere que el estudiante se involucre intelectualmente. Sin embargo, en otros casos se va más allá de la comprensión y uso adecuado de las teorías y se destaca como una gran dificultad el excesivo énfasis que se hace en la formulación matemática de la física, que hace que la “comprensión” de la física se confunda con la habilidad de interpretar las expresiones matemáticas, manipularlas y hacer uso de ellas para resolver ejercicios, y que se deje de lado el análisis y la lógica conceptual de los planteamientos teóricos.*

A partir de esta consideración, en el presente trabajo de grado se busca hacer una revisión documental del concepto de viscosidad partiendo del contexto histórico del surgimiento de la mecánica de fluidos, hasta llegar al estudio inicial de los fluidos no newtonianos que son formalmente descritos por la reología; principalmente se acude a la reología debido a que ésta rama de la Física se encarga en describir el comportamiento de

aquellos fluidos que presentan una viscosidad no lineal y por tanto ésta no es constante en el fluido (no cumplen con la descripción de Newton), este tipo de fluidos se utilizan actualmente en la industria; un ejemplo es el comportamiento de alimentos líquidos que tienen aplicabilidad de transporte de flujo y transferencia de calor, en este sentido Velásquez (2006) afirma que para que se den ciertos tipos de procesos con alimentos líquidos de características no newtonianas es necesario un estudio de éstos, en específico porque en las tuberías y los sistemas de bombeo la variación de la viscosidad puede tener como consecuencia la variación del transporte y por tanto el proceso en sí mismo; también se conoce una investigación sobre fluidos no newtonianos sometidos a impactos, aquí González (2019) presenta la importancia que tienen los fluidos dilatantes al recibir un impacto un proyectil, ya que permitirían la movilidad el sujeto, aunque se debe también considerar que en algunas de las protecciones corporales su masa sería mayor.

Ejemplos como los anteriores permiten evidenciar que en el mundo actual es importante revisar estos aspectos de los fluidos y en específico de los fluidos no newtonianos. Por tanto, el propósito de este trabajo, dirigido a la conceptualización de la viscosidad de un fluido haciendo el correspondiente análisis de las similitudes y diferencias entre los fluidos newtonianos y los no newtonianos, puede potenciar su aprendizaje y abrir caminos hacia el estudio de las ciencias y las ingenierías.

Para lograr esto, se realiza una revisión de los estándares y normatividad establecidos por el Ministerio de Educación, donde la mayoría de la problematización en torno a los fenómenos físicos relacionados con los fluidos se encuentran enfocados en la enseñanza desde la educación media y superior. En relación con lo mencionado allí respecto a los fluidos, estos son abordados de la forma convencional, por lo cual inicialmente sólo se contempla el estudio desde la mecánica de fluidos newtonianos, cerrando la posibilidad de mostrar conceptos como



el de viscosidad en otros fluidos (no newtonianos) asociados con la industria, la tecnología empresarial, procesos biológicos, etc.

Por lo cual se considera importante presentar una propuesta pedagógica, como una herramienta que le permita al docente llevar en el aula un proceso de enseñanza-aprendizaje del concepto de viscosidad de forma alterna. Es así como esta investigación está pensada en tres momentos: en el primero (Capítulo I) se presenta el contexto problemático, los objetivos, antecedentes y metodología de trabajo desarrollada, para la investigación.

En el segundo momento (Capítulo II) se realiza una reflexión desde el carácter histórico y disciplinar con el fin de presentar un marco conceptual que permita la construcción y reflexión acerca del concepto de viscosidad, además de ser referente para sentar las bases de un aprendizaje significativo en torno a las actividades experimentales que se puedan llevar al aula. Adicionalmente, se realiza una descripción del análisis físico que posibilitó el desarrollo y el estudio del concepto de la viscosidad partiendo desde del comportamiento de los fluidos newtonianos hasta llegar a los no newtonianos o lo que se conoce hoy en día como Reología.

En el tercer capítulo se presenta la propuesta pedagógica donde se propone una secuencia de actividades experimentales, de análisis, de reflexiones y además preguntas orientadoras que conlleven a la construcción del concepto de viscosidad desde el estudio de los fluidos newtonianos y no newtonianos.

# **CAPÍTULO I: CARACTERIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA DESDE LA ENSEÑANZA DE LOS FLUIDOS**

En la actualidad los procesos académicos que se deben llevar a cabo en las instituciones educativas están regidos por el Ministerio de Educación Nacional (MEN), el cual establece una serie de criterios en torno a los ejes temáticos mínimos que se deben abordar en cada nivel educativo desde básica hasta media. Es así como en el área de ciencias naturales se plantean los temas de física que serán abordados en el aula, presentados formalmente en los estándares básicos de aprendizaje y los derechos básicos de aprendizaje.

Dado que, en la mayoría de los casos se considera que la dificultad en la enseñanza de la física está en la comprensión lograda por los estudiantes de los conceptos, leyes o teorías que se enseñan, esto conlleva a deficiencias para solucionar correctamente los ejercicios planteados en los textos guía para estudiantes y profesores (GIL PÉREZ et al., 1988). Esto evidencia que la aproximación a las temáticas en física está dirigida a la solución de ecuaciones, en lugar de la construcción de un determinado concepto. De esta manera, teniendo en cuenta que para el presente trabajo se propone plantear el abordaje del concepto de viscosidad, se inicia con el trabajo en torno a este concepto desde sus primeras formulaciones para lograr establecer las descripciones que puedan posibilitar una comprensión más allá de la solución de ejercicios a estudiantes de media, y que les permita pensarse situaciones que puedan presentarse en este tipo de cuestionamientos usados en las pruebas.

## **1.1 Planteamiento del Problema**

Actualmente los Estándares Básicos de Competencias y los Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA), permiten al docente en ciencias tener una guía sobre las temáticas que se deben abordar en el aula de clase, acorde con lo que los estudiantes deben aprender establecido

por el gobierno. En este sentido, se realizó una inspección de dichos documentos para identificar los temas relacionados con la enseñanza de la mecánica de fluidos; se encontró que en los estándares básicos de competencias para grado décimo y undécimo se debe explicar el comportamiento de fluidos en movimiento y en reposo, sin embargo, no se establece que esta explicación se deba realizar exclusivamente desde los fluidos newtonianos como se realiza tradicionalmente.

Según los estándares básicos de aprendizaje, los estudiantes al terminar este grado deben tener el dominio para identificar y comprender los fenómenos asociados a los fluidos y desarrollar la capacidad de elaborar ejemplos acerca del modelo de mecánica de fluidos en los seres vivos, así como proponer explicaciones para las aplicaciones tecnológicas de este modelo, lo cual desde lo propuesto requiere un razonamiento que les permita a los estudiantes poner en contexto el aprendizaje que sobre la mecánica de los fluidos se ve en el aula.

Algunas dificultades o problemáticas que se han estudiado frente a la enseñanza de la mecánica de fluidos y el concepto de viscosidad son el confundir la densidad con el peso y la viscosidad, además también se suele asociar la presión con la fuerza que tiene un cuerpo, o la creencia de que un fluido tiene mayor densidad por el hecho de tener mayor viscosidad, es así como además se presenta falta de argumentación en algunas respuesta alrededor de diversos conceptos por parte de los estudiantes. García (2008) muestra que las dificultades en los procesos de enseñanza-aprendizaje en el área de las ciencias se deben al hecho de presentar conceptos de forma teórica sin asociarlos a la experiencia.

Desde esta perspectiva, para poder abordar el concepto de viscosidad de manera que no tenga confusiones con otras características o variables que describen a los fluidos, se propone la importancia de reconocer cómo están determinados los fluidos newtonianos remontándose a sus inicios a principios del siglo XX.

Desde Newton se define Fluido de la siguiente manera: *“Fluido es todo cuerpo cuyas partes ceden a la aplicación de cualquier fuerza, y, al ceder, se mueven entre sí con facilidad.”* (Newton, 1687), los fluidos newtonianos entonces, son aquellos en los que la fuerza de rozamiento y la velocidad son lineales. Sin embargo, no todos los fluidos tienen este comportamiento; los llamados fluidos no newtonianos o anómalos no siguen la ley de Newton del rozamiento interno, cuya relación se define como: *“La resistencia que surge de la falta del deslizamiento de las partes del líquido, siendo iguales las otras cosas, es proporcional a la velocidad con la que las partes del líquido se separan una de la otra ”.*(Newton, 1687). En los fluidos esta falta de deslizamiento es a lo que se denomina viscosidad, lo cual es sinónimo de fricción interna y es una medida de resistencia al flujo (Barnes, Hutton, Walters, 1999).

Desde la definición de un fluido newtoniano es importante señalar que, si bien en la enseñanza de la física existen una variedad de conceptos que surgen desde el aspecto metafísico, desde el surgimiento del positivismo Mach se presenta cómo la experiencia es ente organizador de la Física. En ese sentido al analizar los conceptos se determina que son perceptibles a partir de los sentidos y las sensaciones, es decir que el conocimiento deviene de las experiencias, desde esta perspectiva, cuando se habla de viscosidad y se presenta desde un planteamiento teórico se exhibe una dificultad en cuanto a la aceptación y definición del concepto por parte de los estudiantes, ya que el estudiante debe establecer una relación entre sus conocimientos intuitivos y su imaginación para así generar afinidad con la teoría; es por esto que al realizar un acercamiento desde las experiencias al concepto podría permitir interiorizarlo, de tal manera que el conocimiento no solo se quede enmarcado en el desarrollo de ecuaciones (García, 2008). De esta forma, para hacer más evidente el concepto de viscosidad y poder abordarlo en el aula, se plantea como alternativa de enseñanza, realizar un recorrido desde la perspectiva newtoniana hasta la reología y dar sentido al comportamiento de algunas sustancias y caracterizarlas desde la viscosidad que presentan, se proponen algunas actividades

experimentales, de tal manera que el estudiante realice una reestructuración del conocimiento en torno al concepto en cuestión.

Se habla de la reología, ya que, es la disciplina que ha permitido estudiar los fluidos no newtonianos y analizar su comportamiento, uno de los fundamentos más abordados desde la reología y que poco se menciona en los entornos educativos, es la diferencia más relevante entre fluidos newtonianos y no newtonianos, en los primeros la viscosidad es constante y definida mientras que en los no newtonianos la viscosidad varía de acuerdo con la presión o temperatura a la que se encuentre el fluido. El estudio de la reología ha permitido desarrollos importantes en la industria farmacéutica, la investigación de la medicina moderna, la fabricación biotecnológica de materiales, entre otros, todos estos desarrollos y materiales ayudan a ilustrar la relevancia sustancial de la Reología y los fluidos no newtonianos desde la segunda mitad del siglo XX.

Teniendo en cuenta lo anterior, se considera relevante plantear una propuesta pedagógica que refleje la relación existente entre los fluidos newtonianos y no newtonianos con respecto al concepto de viscosidad, de tal manera que le permita al docente repensar la forma de abordar las temáticas propuestas por los estándares educativos y plantee alternativas innovadoras para la enseñanza-aprendizaje de los diversos conceptos, permitiéndole al estudiante reconocer los tipos de fluidos y sus aplicaciones, tanto en el área de la física como en la tecnología, por esto se determinó abordar la propuesta pedagógica por medio de actividades experimentales que permitan la comprensión de los fluidos dilatantes, ya que se espera que brinde al estudiante un aprendizaje significativo para construir el concepto de viscosidad y determinar la relación que existe con la fuerza cortante.

## **1.2 Pregunta Problema**

¿Cómo realizar una aproximación al concepto de viscosidad mediante una contextualización disciplinar e histórica de los fluidos newtonianos y no newtonianos, para construir una propuesta pedagógica para estudiantes de grado décimo?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 *Objetivo General***

Caracterizar el concepto de viscosidad a partir de los fluidos newtonianos y no newtonianos (dilatantes), para abordar su enseñanza en estudiantes de grado décimo.

### **1.3.2 *Objetivos específicos***

- Presentar una contextualización histórica y desde la física (respecto a los fundamentos teóricos) alrededor de los fluidos newtonianos y no newtonianos.
- Identificar los aspectos que permiten definir el concepto de viscosidad a partir del estudio de fluidos newtonianos y no newtonianos.
- Proponer una estrategia pedagógica mediante actividades experimentales que permita al docente construir el concepto de viscosidad desde la perspectiva de los fluidos newtonianos y no newtonianos.

## **1.4 Antecedentes**

La enseñanza de los fluidos a través del tiempo se ha realizado de manera convencional donde el docente se encarga de presentar la información teórica y algunos experimentos vistosos, es por esto que se revisaron diferentes trabajos que abordan la enseñanza desde diferentes perspectivas y que en cierta medida aportan a la propuesta del proyecto.

López, V. E. (2017) El comportamiento de los fluidos: explicaciones de estudiantes de undécimo grado, Trabajo de grado. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá. Este trabajo tiene por objetivo desarrollar una estrategia didáctica con el fin de aproximar a los estudiantes del grado undécimo al concepto de presión mediante experiencias con algunos fluidos, Este trabajo permite evidenciar que los estudiantes mejoraron en el desarrollo de sus explicaciones, dando lugar al cambio de la causa del comportamiento de las experiencias. En este sentido se considera útil este trabajo para el desarrollo de la presente investigación ya que presenta la importancia de buscar alternativas que permitan a los estudiantes comprender algunos conceptos a partir de experimentos.

García, R. (2008) *Conceptualización de la viscosidad de un fluido líquido, a través de una unidad didáctica e implementando como herramienta el viscosímetro de flotación*. Trabajo de grado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. Este trabajo propone una unidad didáctica donde se reconoce las dificultades que existe en el proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias, donde se construyó una unidad didáctica y la implementación de una herramienta, la cual evidenció la importancia para el docente de determinar los conocimientos previos de los estudiantes, además logra a partir de la implementación de la unidad didáctica que los estudiantes cambiarán el concepto cotidiano de viscosidad un concepto científico. Es así que esta perspectiva sirve como base para la caracterización del concepto de viscosidad, el cual inicialmente se analizará de forma histórica y experimental.

Pedraza, B. I. (2015) *La Reología en el proceso de micro fluidez en pastas de mortero de cementos portland mexicanos*. Trabajo de grado. Universidad Autónoma del Estado de México. México. Este trabajo está enfocado en la explicación de la reología donde hace mención que es una disciplina científica que se dedica al estudio de la deformación y flujo de la materia. Además, se trabaja la viscosidad como una propiedad de transporte, ya que

cuantifica la conductividad de cantidad de movimiento a través de un medio conductor o fluido. Por lo anterior este trabajo permite realizar un análisis de la reología brindando recursos amplios que posibilitan la comprensión del concepto de viscosidad.

Pacheco, E. (2016) *Interpretación geométrica desde las formas diferenciales: ecuación de continuidad y ecuación de vorticidad* Trabajo de grado, UPN. Este trabajo de grado se enmarca la interpretación geométrica que brinda las formas diferenciales en algunas ecuaciones de la mecánica de fluidos y cuyo objetivo general es: Analizar la representación geométrica de las ecuaciones de continuidad y vorticidad, a través de las formas diferenciales. En este sentido brinda un enfoque alternativo al estudio de la mecánica de fluidos, ya que brinda diversas perspectivas para abordar la temática de la investigación.

Ruiz, J.M. (2015) *Estrategias para favorecer el aprendizaje significativo de la dinámica de fluidos en las estudiantes del grado décimo del colegio Madre Elisa Roncallo*. Trabajo de grado, UPN. Este trabajo propone contribuir al aprendizaje significativo del Principio de Bernoulli y la Ecuación de Continuidad en las estudiantes de décimo grado del Colegio Madre Elisa Roncallo, además se llevó a cabo una Investigación Acción en el Aula en seis fases sucesivas de identificación del problema, recolección de información diagnóstica, diseño de un plan de acción, implementación y evaluación. Por lo anterior mencionado este trabajo aportó a nuestra investigación desde el punto teórico la enseñanza de la mecánica de fluidos y también desde el punto pedagógico por la implementación de la metodología de investigación acción.



## 1.5 Metodología

El desarrollo del presente trabajo de grado está dirigido a la construcción del concepto de un fenómeno estudiado por la física como lo es la viscosidad, es por esto por lo que se aborda desde un análisis de fuentes primarias, secundarias e investigaciones que den cuenta la importancia de relacionar carácter disciplinar, histórico y pedagógico en la enseñanza de este. Por lo tanto, el tipo de metodología de investigación que permitió llevar a cabalidad el presente trabajo es de orden cualitativo. Quecedo & Castaño (2003) definen La investigación cualitativa como aquella que produce datos descriptivos, por ejemplo: las propias palabras de las personas, habladas o escritas, y la conducta observable, teniendo presente que se tendrán una serie actividades experimentales, las cuales pueden permitir al docente evidenciar cada uno de estos datos. Este tipo de investigación se interesa por las condiciones y relaciones existentes de una problemática en particular. Además, se retoma y se aborda el carácter histórico con la finalidad de realizar un análisis conceptual y disciplinar de la viscosidad construyendo algunas actividades que le permitan a los estudiantes tener un elemento que, mediante la interacción y experimentación, para aproximarse a la interpretación de la viscosidad.

Es por esto por lo que para llevar a cabo el presente trabajo se desarrolló en tres fases, la primera fase: se inició con el proceso de documentación histórica que dió cuenta el proceso conceptual para la definición de la viscosidad partiendo desde los primeros autores que abordan el fenómeno.

La segunda fase, se centró en presentar el análisis físico y matemático que se consolidó tras la indagación de varios autores, para dar explicación del comportamiento de los fluidos newtonianos y llegar a los no newtonianos, este apartado se abordó debido a que se buscaba resaltar la importancia del carácter analítico y cómo hacerla relevante en el proceso de enseñanza aprendizaje del concepto partiendo de la lectura de algunos textos y relacionándola con actividades que sean de interés para el estudiante.

En la tercera fase, se construyó la propuesta pedagógica la cual se deja planteada para tener un acercamiento con los estudiantes, de tal manera que en primera instancia se pretende realizar una prueba de diagnóstico, para evidenciar los conocimientos previos y conceptos que tienen los estudiantes, y así realizar las actividades propuestas de forma adecuada para reestructurar y fortalecer el conocimiento, es por esto que en la propuesta se trabaja con la metodología IAP investigación-acción participativa, la cual presenta unas características particulares que la distinguen de otras opciones bajo el enfoque cualitativo Para Colmenares (Colmenares, 2011). A partir del IAP se puede señalar la manera como se aborda el objeto de estudio, las intencionalidades o propósitos, el accionar de los actores involucrados en la investigación, los diversos procedimientos que se desarrollan y los logros que se alcanzan, lo cual está en la línea que se pretende seguir en la propuesta pedagógica presentada.

## **CAPÍTULO II: UN ACERCAMIENTO HISTÓRICO Y FÍSICO AL CONCEPTO DE VISCOSIDAD**

Para abordar concepto de viscosidad, se plantea realizar la presentación de algunos elementos históricos fundamentales para dar un contexto al origen del estudio de los fluidos, por lo cual, a continuación se retomarán los orígenes desde la teoría de Newton y Hooke y lo que actualmente se reconoce como Reología; enfatizando en la importancia de la evolución del concepto de viscosidad, con el fin de adquirir algunas herramientas conceptuales y teóricas necesarias, que permitan la reconstrucción del concepto, cómo se trabaja actualmente y contrastarlo con lo que se lleva al aula.

### **2.1 Sobre la Historia del Estudio de los Fluidos y la Evolución del Concepto de Viscosidad**

Antes de realizar una aproximación a los aspectos más relevantes sobre la viscosidad, se debe tener en cuenta la importancia de la historia y cómo el evaluar el desarrollo histórico de un fenómeno físico adquiere un carácter indispensable al abordar la enseñanza de la Física. La historia permite guiar los conceptos en clase, generando una mejor articulación de los diferentes fenómenos a trabajar, como lo afirma María Mercedes Ayala en su trabajo respecto a la recontextualización de saberes científicos:

*“... la historia se ha planteado como un recurso para el trabajo del maestro de ciencias, en cuyo uso debe ser formado, y a la que se puede acudir con diferentes propósitos y, por ende, examinar desde diferentes planos: desde el plano de la motivación y de la caracterización de la “naturaleza” del conocimiento científico; pasando por el plano del rescate de argumentos para mostrar la ciencia como una actividad donde juega la razón; al plano de estrategia didáctica, en la medida en que el establecimiento de paralelos*

*entre el desarrollo científico y el desarrollo del conocimiento individual permite derivar elementos para el diseño de actividades en el aula, tendientes ya sea a posibilitar la implementación del enfoque constructivista o a facilitar la comprensión y uso de un concepto, de una ley o de una teoría” (Ayala M. M., 2006)*

Por lo cual es importante presentar qué llevó a algunos de los filósofos, físicos, matemáticos o químicos a pensar en el concepto de viscosidad, qué permitió desarrollar una investigación en torno a éste y cómo lo podemos relacionar con el conocimiento intuitivo que tiene el estudiante; es claro que hablar de física no solamente involucra el conocimiento del fenómeno desde lo disciplinar, sino que el aspecto histórico es una herramienta importante para lograr un conocimiento más integral del fenómeno, haciendo un acercamiento al sentido de las diversas soluciones que surgen en el entorno de la explicación o teoría y el desarrollo social de esta.

Es por esto que se plantea iniciar el contexto histórico presentando algunos exponentes claves para la construcción del concepto de viscosidad, iniciando con la siguiente cita: *“Heráclito, yo creo, dice que todas las cosas van y ninguna permanece, y comparando las existencias con el flujo de un río, dice que usted no puede mojarse dos veces en el mismo río”*. (Cratylus) Platón, (S V-IV AC), este fragmento hace parte de una conversación entre Hermógenes y Sócrates, mencionada por Platón en su libro Cratylus, dicha frase da paso a la siguiente consideración: *“todo se mueve y nada permanece”* también conocida como *“panta rhei” – todas las cosas fluyen*. Es así como surge un análisis en torno al cambio de todas las cosas. Aunque Heráclito hablaba de los fluidos, esto le permitió a Sócrates pensar en el cambio que puede ocurrir en el conocimiento, como lo mencionó: *“si el conocimiento fluye, no existiría el conocimiento”* lo que permite centrar la idea que solo aquello que es considerado como

“fluido” puede cumplir la condición de “*panta rhei*”, es decir que fluye, por lo cual, se concluye que esta idea hace referencia a la materia sustancial, es decir que a medida que exista una variación en el estado de la materia se pueden conservar propiedades físicas. Esta consideración aporta algunos fundamentos filosóficos que posibilitan recrear un análisis para determinar más adelante los aspectos que permitirían realizar la construcción de conocimientos y conceptos físicos con el fin de dar explicación al comportamiento de los fluidos y por ende la construcción del concepto de viscosidad a través del tiempo.

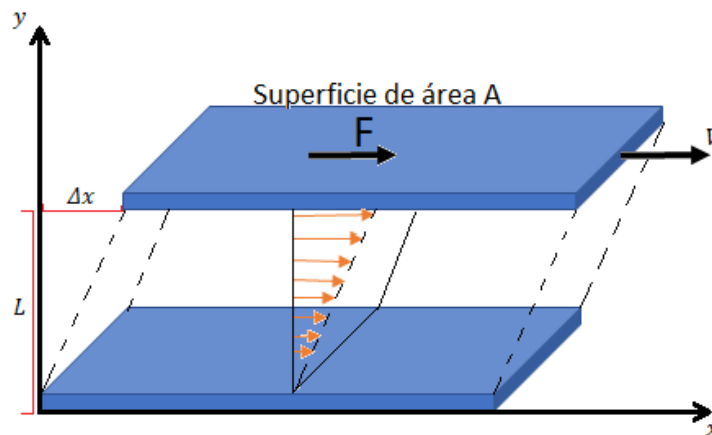
Avanzando un poco en la revisión histórica, se considera importante señalar los aportes del inglés Robert Hooke, quien era miembro de la Royal Society inicialmente como asistente de Robert Boyle, y en 1662 Hooke gana prestigio como experimentador, permitiendo que una de sus primeras publicaciones fuese el libro *Micrographía*, relato de 50 observaciones microscópicas y telescópicas con detallados dibujos, el cual generó un acercamiento al mundo microscópico. Hooke en varios de sus trabajos presenta la situación de un cuerpo el cual, al tener una deformación elástica, dicha deformación será proporcional a la fuerza que la produce, siempre y cuando no se sobrepase el límite de elasticidad, es decir, cuando el cuerpo alcanza su mayor deformación. Es importante señalar que Hooke en su libro “*De potentia restitutiva*”, donde expone un primer ejemplo de la explicación acerca de lo que es la elasticidad, la cual finalmente define como la propiedad de un objeto o material que hace que vuelva a su forma original después de la distorsión; desde la perspectiva de Hooke la elasticidad es la capacidad que tiene un cuerpo para volver a su estado (forma) inicial después de experimentar una distorsión, y presenta la idea de fuerza restauradora, es por esto que históricamente se plantea que es el primer científico en hablar de manera aproximada alrededor de la reología, al mencionar las relaciones de la tensión y la distorsión sobre un objeto sometido a una deformación. (R. Hooke 1678).

“Hooke caracteriza esta fuerza (restauradora) como una proporcionalidad que evidencia la cantidad de estiramiento experimentado por el cuerpo, de este modo dicho comportamiento elástico de los sólidos se puede explicar mediante el hecho de que los pequeños desplazamientos de sus posiciones iniciales son proporcionales a la fuerza que provoca el desplazamiento”. Este análisis de Hooke permite comprender el comportamiento de un sólido con características elásticas, y es relevante para establecer las relaciones y diferencias que existen entre los fluidos newtonianos y no newtonianos. A pesar de estar planteado inicialmente para los sólidos, algunos fluidos de tipo no newtoniano se comportan en ocasiones como un sólido elástico y en ocasiones como un fluido de newton, por lo cual, la caracterización de las leyes para los sólidos elásticos y para el comportamiento de los fluidos más adelante permitirían hacer la clasificación de los diferentes tipos de materiales.

Continuando con el recorrido histórico, aproximadamente en 1684, el astrónomo Edmond Halley había preguntado a Newton acerca de qué trayectoria seguirá un cuerpo sometido a una fuerza inversamente proporcional al cuadrado de su distancia a un punto fijo, al parecer, Halley había recurrido a Newton cansado de no obtener una respuesta clara por parte de Hooke, quien afirmaba desde hacía ya tiempo, sin dar argumento alguno, que la trayectoria sería elíptica. Newton respondió inmediatamente que la curva sería una elipse, y accedió a la petición de Halley de escribir un libro acerca de sus resultados sobre física y su aplicación a la astronomía. Esto ocurrió 22 años después de que Robert Hooke publicó su obra *micrographia*, puntualmente en el año 1687 en la ciudad de Londres Isaac Newton publicó su libro *“Philosophiae Naturalis Principia Mathematica”* el cual contiene los fundamentos de la física y la astronomía basados en el lenguaje de la geometría, por otra parte en el campo de la mecánica, Newton recopiló en su obra los hallazgos realizados por Galileo y enunció sus tres famosas leyes del movimiento: Ley de la Inercia, Ley de Fuerza, y Ley de Acción - Reacción.

En este libro, a partir del capítulo V, Newton realiza un análisis de los fluidos desde los experimentos; una de las experiencias que menciona y da paso para hablar de presión, es aquella en donde se refiere a un recipiente en el cual se tiene cierta cantidad de agua, de forma que se le incorporan tres objetos con diferente masa y forma. A partir de sus observaciones frente a esta actividad plantea que, al sumergir un objeto en un líquido, debido a la presión que hace el líquido sobre los objetos, estos no deben desplazarse. Así como esta, otras actividades le permiten llegar Newton a consideraciones en las cuales surge el concepto de viscosidad, el cual plantea como sinónimo de resistencia al movimiento. Una de las más importantes es el experimento en el que representa el comportamiento de un fluido (Figura 1), que se encuentra contenido entre dos grandes láminas planas de área  $A$ , la cuales son paralelas y están separadas entre sí por una distancia pequeña " $L$ ", si es muy pequeña la distancia se toma como " $dl$ ". Suponiendo que inicialmente el sistema se encuentra en reposo en un tiempo  $t = 0$ , luego la lámina superior se pone en movimiento en dirección del eje  $x$  y se desplaza un pequeño  $\Delta x$  con una velocidad constante  $v$ . Con este experimento Newton muestra que para este tipo de fluidos, llamados "Newtonianos", la viscosidad permanece constante a pesar de los cambios en el esfuerzo cortante en el fluido, sin embargo, esto no implica que la viscosidad no varía bajo ninguna otra condición, sino que la viscosidad depende de otros parámetros como la temperatura, la presión y la composición del fluido. Newton define entonces la viscosidad como la constante de proporcionalidad entre el esfuerzo aplicado en el experimento y la velocidad de deformación causada en un fluido. De esta forma, Newton planteó la hipótesis asociada al estado simple de cizalladura: "*La resistencia derivada de la falta de deslizamiento de las partes de un líquido es proporcional a la velocidad con que se separan unas de otras dentro de él*" Newton, I. (1687). En ese sentido, dicha diferencia relativa a la facilidad de deslizamiento interno de algunos fluidos es lo que se conoce como viscosidad. De manera que

los fluidos que se comporten de acuerdo con esta ley de proporcionalidad (Figura 1) se denominan fluidos de Newton.



**Figura 1** Flujo cortante simple, Imagen propia. Se tiene un líquido entre dos placas cada una de área A, separadas a una distancia L. La placa superior se mueve en relación con la otra placa a una velocidad constante v debido a la acción de una fuerza externa F, provocando que las capas de fluido comiencen a fluir dependiendo de la cercanía con la placa inferior.

Lo anterior lleva a pensar que para Hooke y Newton todo fue aparentemente simple y completamente descrito desde las leyes propuestas en esta época, de hecho durante dos siglos todos estuvieron satisfechos con la Ley de Hooke para los sólidos y la Ley de Newton para los líquidos; en el caso particular de los líquidos, se sabía que la ley de Newton funcionaba bien para algunos líquidos comunes, para otros se realizaban aproximaciones respecto a una viscosidad aparente y se asumió como una ley universal, de igual forma que sus leyes más famosas sobre la gravitación y el movimiento. Si bien son dos posturas que le dieron un paso a la física para la comprensión de diferentes materiales tanto líquidos como sólidos, permitieron comprender por separado el comportamiento de cada uno de estos. Cabe resaltar que Hooke siendo reconocido como el mejor experimentador por la Royal Society gozaba de tener una gran credibilidad, además de esto, al ser contemporáneo con Newton les llevó a tener roces respecto a investigaciones que llevaban en curso al mismo tiempo, mientras Hooke realizaba



experimentos enrollando alambres, Newton se pensaba en la interacción de la presión y el desplazamiento de un objeto sumergido en un fluido.

Sin embargo, algunos años después de publicada la obra de Newton, en 1846 el físico alemán Wilhelm Weber, quien se desempeñó en el área del electromagnetismo, lleva a cabo una serie de experimentos con hilos de seda donde evidenció que no eran perfectamente elásticos, ya que observó que al aplicar esfuerzos longitudinales, para determinados esfuerzos se cumplía la ley de Hooke: la seda, dada la deformación causada volvía a su origen al retirar la fuerza aplicada; pero a partir de cierto valor, el hilo de seda se extendía para no volver a recuperar la longitud original, con este experimento se puso de manifiesto que con sólo la ley de Hooke no se podría explicar el comportamiento de este sólido, ya que este tipo de características elásticas se encontraban asociadas a los líquidos. Esto fue determinado a partir de la investigación que estaba realizando sobre la masa electrodinámica de los cuerpos, Los experimentos realizados por Weber permitieron evidenciar que existía, en la época, la necesidad de comprender el comportamiento elástico de algunos cuerpos sólidos los cuales se comportan como líquidos, de tal manera que surgen diferentes investigaciones para describirlos (Díaz 2018).

Además, es relevante señalar que a pesar de que Newton introdujo sus ideas acerca del comportamiento y caracterización de algunos fluidos en 1687, no fue sino hasta el siglo XIX que Navier y Stokes desarrollaron independientemente una teoría tridimensional consistente para analizar lo que ahora se llama un líquido viscoso newtoniano. En 1822, el matemático e ingeniero francés *Claude-Louis Navier* deduce un sistema de ecuaciones que describen *el comportamiento de algunos fluidos*, y veinte años después, *Sir George Gabriel Stokes* realiza un planteamiento de un modelo diferente, con lo cual completa la descripción de esas ecuaciones, bautizadas como ecuaciones de Navier-Stokes en honor a ambos.

Las ecuaciones desarrolladas por Navier-Stokes rigen el movimiento de los fluidos comunes tales como el agua, aire, aceite, entre otros, sin embargo, esto ocurre bajo condiciones muy generales; además estas ecuaciones también son utilizadas en el estudio de muchos fenómenos importantes, ya sea solos o articulados con otras ecuaciones, por ejemplo, se utilizan en estudios teóricos en ciencias aeronáuticas, en meteorología, en termo hidráulica, en la industria del petróleo, etc. En este sentido desde el punto de vista de la mecánica, las ecuaciones de Navier-Stokes son las ecuaciones más “simples” que describen el movimiento de un fluido, y se derivan bajo la suposición física de que existe una relación local lineal entre tensiones y tasas de deformación.

A pesar de que el modelo físico, en el cual la conservación del momento y la masa para los fluidos newtonianos conlleva a las ecuaciones de Navier-Stokes es simple, es muy diferente desde el punto de vista matemático debido a su no linealidad, en este sentido el estudio matemático de estas ecuaciones complejo y requiere un amplio análisis de algunas funciones. Sin embargo, a pesar de todo el amplio e importante trabajo realizado en estas ecuaciones, aún permanecen incompletos estos desarrollos ya que aún no existe una solución general a dicho conjunto de ecuaciones, por lo que para cada problema concreto de la mecánica de fluidos se estudian estas ecuaciones buscando simplificaciones que faciliten la resolución del problema, pero en algunos casos no es posible obtener una solución analítica.

Las ecuaciones de Navier-Stokes son presentadas en derivadas parciales no lineales, las cuales permiten realizar un análisis el movimiento de un fluido ya que se obtienen aplicando los principios de conservación de la mecánica, la termodinámica y algunas consideraciones, principalmente aquellas en las que los esfuerzos tangenciales guardan una relación lineal con el gradiente de velocidad, también conocida como la ley de viscosidad de Newton, de modo que permiten determinar el comportamiento de los llamados fluidos newtonianos, cuya

resistencia (Viscosidad) a deformaciones puede considerarse constante en el tiempo, lo cual se verá ampliado en el siguiente capítulo.

Continuando con el recorrido histórico, en 1867 J.C. Maxwell establece un modelo matemático en su artículo titulado "*Sobre el teórico dinámico*" que apareció en la Enciclopedia Británica. En éste presenta un sistema de un amortiguador y un resorte conectados en serie, se caracteriza por no presentar una respuesta lineal con los esfuerzos de corte, de tal forma que su comportamiento es no lineal. Esta condición dio lugar a que surgiera la noción de viscoelasticidad en la comunidad científica de la época, término que describe un comportamiento comprendido entre los extremos clásicos de Hooke y Newton, abriendo la puerta a nuevas investigaciones alrededor de los fluidos.

Teniendo en cuenta el breve recorrido histórico alrededor de los autores y momentos más relevantes en el estudio de los fluidos y la viscosidad, se evidencia que los autores realizaron un aporte significativo a la mecánica de fluidos clásica, puesto que cada uno de ellos mediante sus investigaciones en ámbitos diferentes a los necesariamente relacionadas con los fluidos lograron evidenciar un comportamiento elástico, desde Hooke con los sólidos, Weber con los hilos de seda y Maxwell con su teoría electrodinámica, cada uno de estos aportes da paso al avance logrado para la explicación de una porción importante de la mecánica de fluidos y los tipos de fluidos, además sentaron las bases para un estudio formal de su comportamiento, la cual tiene como pilar la fundamentación Newtoniana, que alcanza su cúspide con el desarrollo basado en las ecuaciones de Navier-Stokes. Aun así, esta formulación no permite un estudio de los fluidos que no se comportan bajo las leyes anteriormente establecidas para los fluidos, por lo cual existía una preocupación por los materiales que se encontraban entre los extremos clásicos, sólidos y fluidos, como el caso de los hilos de seda de Weber y los fluidos elásticos de Maxwell, los cuales se aplican para describir el comportamiento de los fluidos no

lineales. Además, a finales del siglo XIX, se sugiere que las propiedades de una sustancia en realidad es una combinación entre una componente elástica y otra viscosa, sentando las bases conceptuales para el estudio de los fluidos utilizados en la actualidad.

A partir del recorrido histórico que se realiza es posible evidenciar la relación existente entre la elasticidad y el material de un cuerpo, y las posibles interacciones que se puedan presentar, esto surge a partir de las formalizaciones presentadas por los autores generadas en trabajos experimentales realizados por cada uno de ellos, esto permite al docente comprender la relevancia del contexto histórico para tener un primer acercamiento con los estudiantes al concepto, para así posteriormente mediante un proceso experimental realizar una comprobación de teorías desde un carácter significativo para el estudiante en cuanto al aprendizaje del concepto de viscosidad. Sin embargo, no se debe dejar de lado, las investigaciones modernas que presenten relación con el concepto, ya que están en relación con el comportamiento de los materiales y sus aplicaciones tecnológicas en la actualidad, es decir crear un enlace entre la historia y aspectos cotidianos para el estudiante para que comprenda el concepto y lo pueda aplicar.

Con lo anterior se da paso a la conformación de una nueva rama de investigación de la Física, la cual surge dada la necesidad de estudiar el comportamiento de todos los fluidos, incluidos los extremos clásicos. Es así, que a principios del siglo XX el director del departamento de química en la Universidad Lafayette College en Pensilvania, Eugene Bingham en busca de comprender el comportamiento de algunas sustancias y realiza una serie de publicaciones donde se presenta puntualmente la viscosidad a partir de ciertas características variables en las sustancias. De esta manera propone un modelo enfocado en la relación entre la

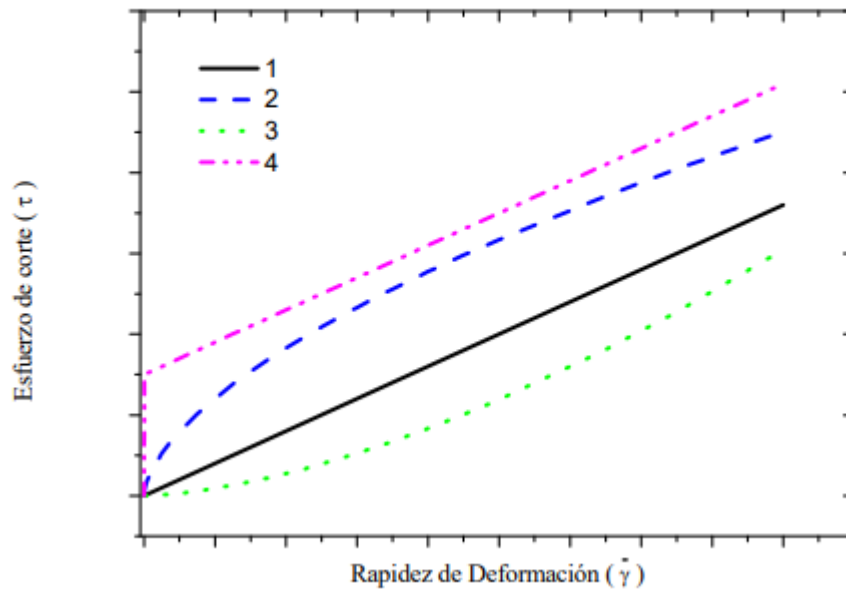
deformación y esfuerzo de una sustancia, allí evidencia que ciertas propiedades como la rigidez y la viscosidad pueden variar con el esfuerzo aplicado sobre el fluido;

Este tipo de fluidos no hacen parte propiamente de la mecánica de fluidos establecida desde el siglo XVII y ampliamente aplicada durante los siglos posteriores, principalmente porque el comportamiento y algunas de las características de los fluidos tratados varían en función de la temperatura y fuerza cortante a la que estén sometidos.

Desde este momento se establece una nueva descripción para una clase muy particular de estos tipos de fluidos: el fluido de Bingham, el cual es un material que se comporta como un cuerpo rígido al estar sometido a tensiones reducidas (por debajo de un umbral establecido) pero que a su vez fluye como un fluido viscoso al ejercer sobre el mismo tensiones mayores (BINGHAM, 1916), este comportamiento se debe a que el líquido contiene partículas o moléculas grandes con las que se crea una estructura sólida débil, la cual antes se denominaba como cuerpo falso. Además, se requiere una cierta cantidad de tensión para romper esta estructura, no obstante, luego de que se ha roto, las partículas se mueven como si se eliminara la tensión y se asocian nuevamente.

Los fluidos de Bingham también se conocían con el nombre de sólido *ideal*, donde esté se deforma elásticamente y la energía requerida para la deformación se recupera totalmente cuando se retira el esfuerzo aplicado. Por su parte los fluidos ideales se deforman de manera irreversible, fluyen, y la energía requerida para dicha deformación es disipada en forma de calor en el interior del fluido y por lo tanto al retirar el esfuerzo aplicado no es posible recuperar dicha energía.

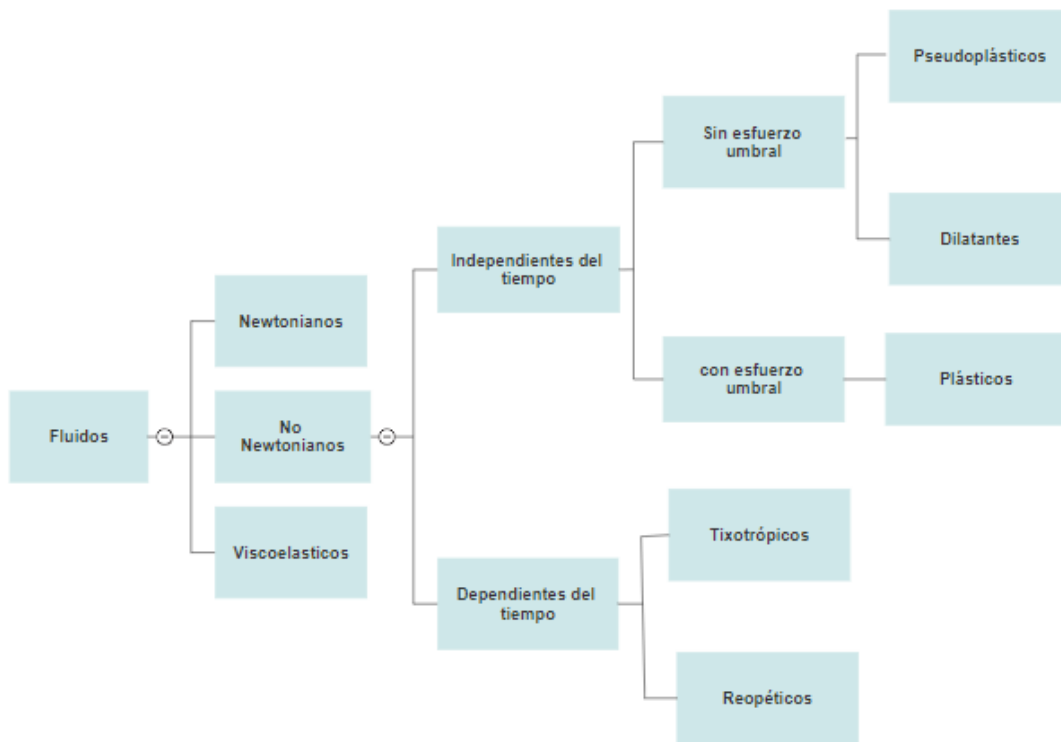
En este sentido se puede hacer una clasificación de los diferentes tipos de fluidos mediante el análisis de la gráfica donde se muestra su comportamiento en función al esfuerzo de corte y rapidez de deformación, como se puede observar en la siguiente figura 2.



**Figura 2** *Comportamiento de la viscosidad teniendo en cuenta el esfuerzo de corte y la deformación que la sustancia pueda tener Tomada de Méndez, 2010.*

En la figura 2 se observa la gráfica de esfuerzo de corte Vs rapidez de deformación, en esta se clasifican los diferentes tipos de fluidos, donde se muestra la línea 1 que representa el comportamiento de un fluido newtoniano, la línea 2 representa un fluido pseudoplástico, la línea 3 el comportamiento de un fluido dilatante y la línea 4 muestra el comportamiento de un fluido plástico de Bingham.

A partir del siglo XX surge la importancia de reconocer y clasificar los diferentes tipos de fluidos, lo cual se puede hacer de diferentes formas, por ejemplo, con base en sus características, estado de la materia, comportamiento, entre otras. En este caso, de acuerdo al objetivo de la presente investigación, se hace necesario clasificar los fluidos de acuerdo a su viscosidad y esfuerzo cortante, por lo cual se toma en cuenta una división en tres grandes categorías: los newtonianos, no newtonianos y viscoelásticos, donde se presenta de manera general cuáles son las características más relevantes de los fluidos no newtonianos para así realizar un análisis sobre el comportamiento del fluido como se representa en la Figura 3.



**Figura 3** Clasificación de los fluidos según la Reología, elaboración propia (Barnes, A., Hutton, F., & Walters., K. (1989).)

Así, los fluidos no newtonianos se dividen en dos grandes ramas: los fluidos dependientes del tiempo, los cuales plantean dificultades mayores en su estudio ya que su viscosidad varía con respecto al tiempo, la velocidad y la temperatura, por lo cual el análisis contemplando estas variables se torna complejo. Por otro lado, están los fluidos no newtonianos independientes del tiempo, es decir que tienen una viscosidad que no varía con el tiempo, está solo aumenta con relación al incremento de la velocidad de la fuerza cortante.

Actualmente la Reología es la parte de la física que se encarga del estudio de la deformación de un medio continuo (ya sea sólido, líquido o gaseoso) por efecto de la fluidez. Existen dos tipos de medios continuos ideales:

- Sólido elástico o Hookeano: Se deforma elásticamente bajo la acción de una carga, recuperando su estado inicial cuando esta cesa. Existe una energía de deformación que es almacenada en forma de energía potencial elástica.

- Fluido ideal o Newtoniano: Bajo una carga sufren una deformación irreversible. La energía de deformación se disipa en forma de calor, es decir, el medio fluye.

Desde un punto de vista reológico, los diferentes medios continuos se clasifican de la manera que se muestra en la Figura 4.

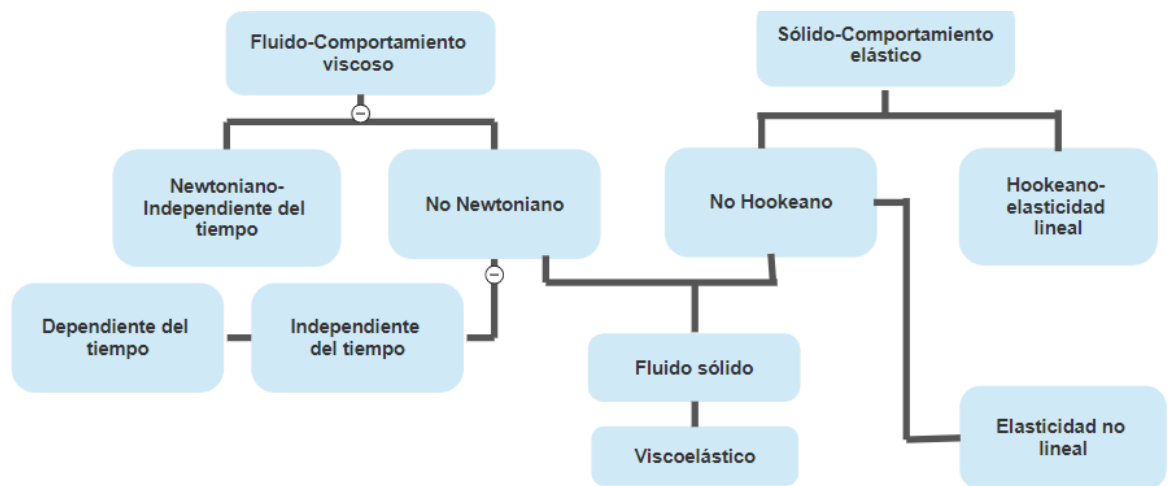


Figura 4 Clasificación de los fluidos en los diferentes medios continuos, elaboración propia. (Porrero, D,(2017).)

Enfocándose en las características de los fluidos, se observa que estos se vuelven a clasificar, de acuerdo con el esquema mostrado en la Figura 3 y presentando que existen tres categorías principales de fluidos:

1. Newtonianos: Se da una relación de proporcionalidad lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad de cizalla.
2. No newtonianos: No existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad de cizalla, o bien existe esfuerzo umbral  $\tau_0$  a partir del cual el fluido comienza a fluir.
3. Viscoelásticos: Presentan un comportamiento y propiedades a medio camino entre líquidos y sólidos.

De esta forma se llega a la clasificación de los fluidos que permite su estudio actual y uso en la industria, revisando algunos aspectos desde la historia y la concepción de viscosidad



de un fluido, así como su evolución. Para las diferentes concepciones en torno a la viscosidad, se contemplaron de manera general los exponentes que se consideraron más relevantes en torno a la construcción del concepto de viscosidad, además, se dio un vistazo general a la reología. En este sentido como docentes de Física se recalca la importancia del carácter histórico y conceptual de los fenómenos físicos ya que permite tanto al docente como al estudiante entablar una relación entre el desarrollo del contexto histórico con sus experiencias previas, puesto que es así cómo se incentiva a una reestructuración de conocimientos, al cambio epistemológico que se tiene en pro de que el estudiante tenga un aprendizaje significativo.

## **2.2 Un Acercamiento desde la Descripción Fisicomatemática del Concepto de Viscosidad.**

Los estudios realizados por Bingham sobre viscosidad mostraron que para algunos fluidos ésta depende de las condiciones de flujo y de la velocidad del movimiento de los fluidos, alejándose de la idea clásica de viscosidad, es por esto que realizar un análisis completo del comportamiento viscoso de un fluido puede permitir la caracterización de las diferencias existentes entre los fluidos newtonianos y no newtonianos, en ese sentido a continuación se realizará la descripción del comportamiento estos fluidos desde el aspecto disciplinar.

### ***2.2.1 A propósito de los fluidos newtonianos***

Desde la mecánica de fluidos de Newton se ha estudiado el comportamiento de los fluidos bajo fuerzas aplicadas, es decir, el movimiento de las partículas de un fluido guarda una relación directa con la fuerza o perturbación que se aplique sobre el mismo, por lo tanto, se considera importante conocer conceptos como el esfuerzo y la deformación para los fluidos viscosos.

Newton en los Principia Matemática plantea en el capítulo IX *“The resistance arising from the want of lubricity in the parts of a fluid , is , others things being equal , proportional to the velocity with which the parts of the fluid are separated from one another”* (Newton, 1687) esta afirmación permite comprender que en un fluido la resistencia es proporcional a la velocidad de deformación existente entre las partes del fluido, para ello es importante revisar la Figura 1, la cual evidencia gráficamente el planteamiento teórico realizado por Newton.

Este autor presenta el concepto de presión a partir de una serie de experimentos teóricos, ya que el concepto de presión fue una de las problemáticas más importantes durante el siglo XVII. Newton define la presión como el cociente entre la componente de la fuerza perpendicular a una superficie y el área de ésta. Caracteriza la presión como una magnitud escalar que depende únicamente de sus coordenadas y a partir de esto se plantea la ecuación fundamental de la estática de fluidos:

$$P = \frac{F}{A}$$

Donde  $P$  es la presión  $F$  es la fuerza proyectada perpendicularmente sobre un área  $A$ . Esta ecuación permite evidenciar la relación que existe entre la fuerza aplicada y el área de la superficie, además permite iniciar el análisis del comportamiento del sistema presentado en la Figura 1. En el sistema, se presenta una situación de flujo cortante simple donde se tiene un líquido entre dos placas cada una de área  $A$ , las cuales están separadas a una distancia  $L$ . La placa superior se mueve en relación con la otra placa a una velocidad constante  $v$  debido a la acción de una fuerza  $F$ , provocando que las capas de fluido más cercanas de la placa inferior comiencen a fluir. Es así como lo formulado por Newton en su segunda ley sugiere en este caso que la aceleración es un punto fundamental para el análisis del movimiento de los fluidos en la mecánica de fluidos, de tal manera que presenta una relación con la idea básica de la fuerza por

unidad de área aplicada en la superficie inferior, la cual es inversamente proporcional a la distancia  $L$ , y la constante de proporcionalidad es la viscosidad.

Partiendo de la anterior consideración se analiza un conjunto de ecuaciones importantes para realizar la medición de la viscosidad, en primer lugar, se tiene la relación de la fuerza por unidad de área, se caracteriza dicha relación como el esfuerzo de corte  $\tau$ , de la siguiente forma:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Esta ecuación muestra que existe una similitud o equivalencia con la ecuación de la presión, pero en este caso se habla de ese esfuerzo de corte que representa resultado de la flexión, la torsión o la aplicación de fuerzas transversales sobre un cuerpo o sistema. En segundo lugar, se tiene el concepto de deformación de corte, el cual hace referencia a que los cuerpos no son totalmente rígidos debido a que, si se le aplica una fuerza, por más pequeña que esta sea el cuerpo exhibirá una deformación, a partir de esta definición y la Figura 1, se caracteriza la deformación como:

$$D = \frac{\Delta x}{L} \quad (2)$$

Esta ecuación permite evidenciar que la deformación está relacionada con la distancia existente entre las dos placas, y la variación en la posición en  $x$  de la placa superior que se presenta debido a la fuerza aplicada. Ahora bien, si dicha fuerza genera un desplazamiento, el fluido o más específicamente las partes de éste se desplazarán con una velocidad en dirección del desplazamiento, es así como retomando la ecuación:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (3)$$

De la cual se realiza el despeje de la variación de  $x$  y se obtiene:

$$\Delta x = v \cdot \Delta t \quad (4)$$

Reemplazando (4) en (2) para mostrar lo que pasa con la deformación se tiene que:

$$D = \frac{v \cdot \Delta t}{L} \quad (5)$$

Una vez obtenidas estas expresiones se comprende la relación entre las variables en las cuales está dado el módulo de corte o de cizalladura ( $S$ ) el cual establece una relación entre el esfuerzo cortante -ecuación (1)- y la deformación de corte del sistema- ecuación (5)- (Méndez, 2010). Retomando nuevamente la Figura 1, se puede analizar qué pasa con este módulo de corte, ya que se aplica una fuerza sobre la placa superior mientras la inferior se mantendrá inmóvil, lo que evidencia una deformación en el fluido que permanece entre las dos placas, es decir:

$$S = \frac{\tau}{D} \quad (6)$$

Realizando los reemplazos correspondientes de los valores de  $\tau$  y  $D$  obtenemos el módulo de corte como:

$$S = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{v \Delta t}{L}} = \frac{FL}{Av \Delta t} \quad (7)$$

Es así como se determina el comportamiento de un fluido viscoso desde los aportes realizados por Newton, es decir aquellos fluidos que están sometidos bajo fuerzas aplicadas mantienen una relación directa con la perturbación que se aplique sobre los mismos. Es importante resaltar que la deformación en un tiempo determinado está relacionada con la velocidad que adquiere la placa superior y la distancia entre estas, lo que permite hallar el coeficiente de viscosidad, aunque existen diferentes tipos de coeficientes de la viscosidad en fluidos newtonianos: la viscosidad dinámica o absoluta denominada  $\mu$ , que hace referencia a la resistencia interna existente entre las partículas de un fluido en movimiento y a su vez

determina las fuerzas que lo deforman y lo mueven, y la viscosidad cinemática determinada como  $\nu$ , en la cual se relaciona la viscosidad dinámica ( $\mu$ ) y la densidad ( $\rho$ ) del fluido. La viscosidad cinemática da cuenta de la medida de la resistencia interna de un fluido a fluir debido a fuerzas gravitacionales.

El coeficiente de viscosidad dinámica para un fluido está definido como la proporción entre el esfuerzo de corte y la tasa de cambio de la deformación de corte (Serway, 1999) por lo tanto, la ecuación final para la viscosidad de un fluido Newtoniano está dada por:

$$\mu = \frac{FL}{Av} \tag{8}$$

Se debe tener en cuenta que las unidades de la viscosidad en el SI (Sistema Internacional de medida) es Newtons ( $N$ ) por segundo ( $s$ ) sobre metro cuadrado ( $m^2$ ), es decir que representa la fuerza que se aplica por unidad de área, por lo cual también se encuentra definida en Pascales (Pa) por segundo(s). Estas cantidades dependen del área de contacto, de la fuerza necesaria para mover la placa superior a una velocidad constante  $\mathbf{v}$  y del espaciamiento entre las placas, en este análisis se considera que se mantienen las mismas condiciones termodinámicas de presión, volumen y temperatura.

Este desarrollo matemático se establece con base en los conceptos físicos abordados por Newton, permitiendo caracterizar y analizar la variación que tiene las diferentes componentes del sistema físico a estudiar, puntualmente la acción de una fuerza de cizalladura en un fluido newtoniano, donde se parte de la idea de la segunda ley de Newton estableciendo que la fuerza que actúa sobre el sistema permite hacer el análisis del movimiento que se logra evidenciar en el fluido.

### 2.2.2 Una mirada a los fluidos no newtonianos

Respecto a los fluidos no newtonianos, cabe resaltar que en el apartado anterior sólo se abordaron aquellos fluidos que tienen un comportamiento determinado por la viscosidad que se mantiene constante, pero a través de estudios y análisis de diversos autores, se determina que es necesario realizar un cambio en el análisis matemático de los fluidos, ya que se evidencia que dependiendo del fluido, y de características específicas de éste se puede tener un comportamiento diferente al exhibido por los de Newton. Por lo que se determina que para los fluidos no newtonianos es necesario llegar a una ecuación que describa el comportamiento de la viscosidad, teniendo en cuenta lo ya planteado desde Newton y los planteamientos realizados por Bingham lo que conlleva a realizar el análisis desde la ley de potencia para un fluido.

El modelo utilizado para describir el comportamiento de los fluidos no newtonianos es el de Ostwald-de Waele quien plantea:

$$\eta = kv^{n-1} \quad (9)$$

Donde  $\eta$  es la viscosidad aparente del fluido y  $v$  es la velocidad de corte. Este modelo obedece a la Ley de potencia, con la cual se determinan las constantes reológicas fundamentales como lo son  $k$  (índice de consistencia de flujo) que hace referencia a la capacidad de deformación que tiene el fluido y presenta una idea de la consistencia del producto, y  $n$  es el índice de comportamiento del fluido y relaciona la desviación que se presenta respecto a un fluido newtoniano (I. Martín, 2011).

Existen dos métodos para hallar el índice de consistencia ( $k$ ), el primero, conocido como el método de pendiente, en el cual establece una relación logarítmica entre el índice de comportamiento del fluido y la velocidad de corte, el segundo se conoce como el método de coincidencia de viscosidad, esta técnica implica la comparación de curvas de potencia para fluidos newtonianos y no newtonianos utilizando la idea de viscosidades coincidentes. La frase

"viscosidades coincidentes" se refiere a la suposición de que la velocidad de corte promedio para un fluido no newtoniano es igual a la velocidad de corte promedio para un fluido newtoniano cuando la viscosidad newtoniana es igual a la viscosidad aparente del fluido no newtoniano. (STEFFE, J.F. 1996)

Esta ecuación presentada por Ostwald de Waele o también conocida como ley de potencias puede ser usada por ejemplo para describir el flujo de materiales pseudoplásticos, aunque esta relación es muy utilizada, es la propuesta con la cual se supone ampliar la ley de la potencia con el término correspondiente al umbral de fluencia (SHERMAN, 1970).

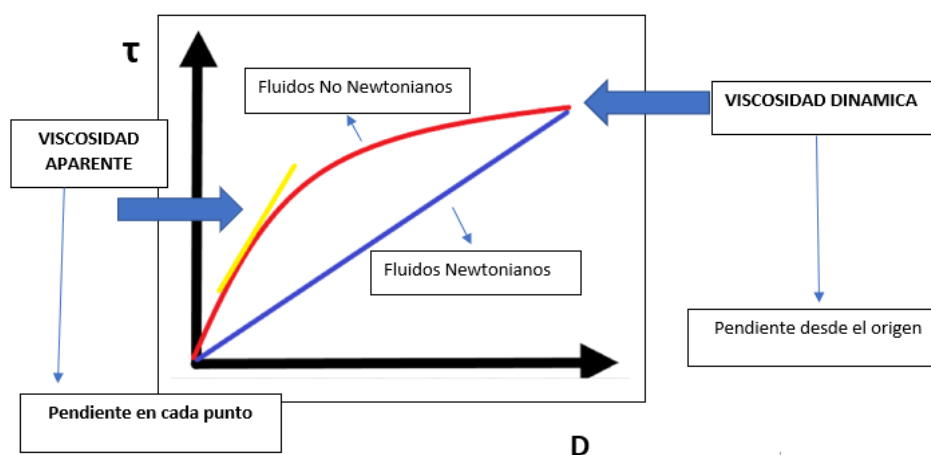


Figura 5 Curva de fluidez para representar la viscosidad dinámica y aparente (Gómez, Andrade, Santoyo y Urquiza, 2009).

Es por esto que si  $k$  y  $n$  son constantes se caracterizan a partir de la pendiente que surge de la gráfica viscosidad vs rapidez de deformación del fluido, cuando  $n$  es menor que 1 se habla de un fluido pseudoplásticos, mientras que si  $n$  es mayor que 1 será un fluido dilatante y cuando  $n$  es igual a 1 se habla que es un fluido que es analizado bajo la ley de newton de la viscosidad donde  $\mu = k$ , lo que permite hacer la descripción del comportamiento con base en el flujo de los diferentes tipos de fluidos. Ahora bien, en el comportamiento viscoso de los fluidos no newtonianos se pueden encontrar fluidos cuya viscosidad varía de acuerdo con valores de la rapidez de deformación  $\dot{\gamma}$ , en cuyo caso la ecuación que describe el comportamiento es la ecuación (10), si este valor de la rapidez de corte es menor o igual a 1 se,

se presenta un comportamiento no newtoniano caracterizado por el modelo de ley de potencias. (Méndez, 2010)

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n \quad (10)$$

En ese sentido la viscosidad desde la dilatación señala que existen algunas velocidades de deformación en las partículas sólidas de tamaños y formas variadas, es decir existirá una distancia entre las partículas de fluido que al disminuir se presenta un roce entre las partículas, con lo cual, al evidenciar este fenómeno se dice que la viscosidad aparente aumenta. Entonces la dilatación es evidencia de una formación o reorganización de la estructura de la muestra, dando como resultado un aumento en la resistencia al aplicar una fuerza (RHA, 1978).

Sin embargo, en los fluidos no newtonianos existen otras relaciones acerca de los diferentes tipos de viscosidad que se pueden presentar:

1. La viscosidad aparente  $\eta$ : se caracteriza como el cociente entre el esfuerzo cortante y la velocidad de cizalladura para fluidos que presentan un comportamiento no lineal, la cual se puede describir por medio de la ecuación descrita por Newton donde da cuenta del comportamiento de los fluidos newtonianos.
2. La viscosidad extensional  $\mu_e$ : es aquella que se presenta un fluido no newtoniano cuando se le aplica un esfuerzo de cizalladura, en esta se relaciona dicho esfuerzo y la velocidad de cizalla en su eje de aplicación.

En los fluidos no newtonianos la viscosidad puede depender tanto de la velocidad de cizalla, como del tiempo, y esta cantidad es además inversamente proporcional a la temperatura, debido a que a medida que la temperatura aumenta, también lo hace la energía cinética que surge de la vibración de las moléculas.

Determinar el comportamiento de la viscosidad de los fluidos no newtonianos de manera experimental es un trabajo laborioso, puesto que es necesario hacer mediciones en un



amplio intervalo de valores de rapidez de esfuerzo de corte. Se considera importante para estos estudios, mantener la temperatura constante cuando se desea determinar de forma experimental la viscosidad de un fluido, puesto que la dependencia entre ambas es notable. Por otro lado, con respecto a la presión se considera que la viscosidad depende exponencialmente de esta, no obstante, estas variaciones son muy pequeñas y despreciables en comparación con las que provoca la temperatura. (Porrero, 2017).

Finalmente es importante reconocer que lo que hace tan especial los fluidos no newtonianos, más específicamente los dilatantes es su viscosidad, ya que ésta aumenta con la velocidad de deformación por cizallamiento haciendo que cambie el comportamiento del fluido, de tal forma que a mayor viscosidad (mayor deformación) se comporta como un sólido elástico y a menor viscosidad (menor o nula deformación) se comporta como un fluido. Gracias a estas características se pueden dar explicaciones alternas al concepto de la viscosidad, y así poder establecer una diferencia clara con la densidad. En este caso la viscosidad vista como una variable que puede cambiar de acuerdo con el esfuerzo que se aplica sobre el fluido y no como una constante de este, que puede ser capaz de contribuir incluso en la forma aparente que toma el estudiante el concepto y también puede crear relaciones con nuestro entorno, en este sentido se plantea una propuesta de enseñanza en la que se aborda el concepto de viscosidad haciendo un barrido de los fluidos newtonianos y no newtonianos y de esta forma hacer un acercamiento diferente que permita superar dichas dificultades en relación con la enseñanza-aprendizaje del concepto de viscosidad.

### ***2.2.3 A Propósito de los medios continuos***

Teniendo en cuenta el apartado anterior se ha hablado desde un aspecto conceptual del comportamiento de un fluido que no se comporta bajo lo establecido por Newton, en ese sentido, se considera abordar la mecánica de los medios continuos con el propósito de

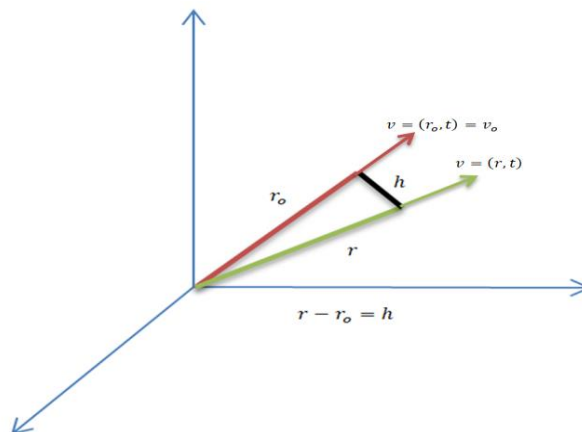
comprender su comportamiento a partir del análisis tensorial teniendo como precedente que Ludwig Prandtl es quien plantea esta teoría considerando los efectos de la viscosidad.

Ahora bien, desde el desarrollo de esta investigación se considera relevante mencionar y abordar el tensor gradiente de velocidad puesto que es el que permite analizar el comportamiento viscoso de un fluido, recordando que a partir de la ley de la conservación de la masa se determina la ecuación de continuidad, que para este caso está en forma local en un flujo incompresible obteniendo:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v) = 0 \Leftrightarrow \nabla \cdot v = 0 \quad (11)$$

Donde  $\frac{\partial \rho}{\partial t}$  es la variación de la densidad respecto al tiempo,  $\rho$  se define como la densidad del fluido (masa/volumen) y  $v$  la velocidad. El operador nabla indica una variación en las tres dimensiones espaciales X, Y y Z, dicha equivalencia pretende que el fluido se conserve tanto espacial como temporalmente.

Entendiendo el flujo de fluidos incompresibles como aquellos que se rigen por las ecuaciones de Navier – Stokes, teniendo en cuenta la consideración que la densidad es constante, lo cual elimina un término de la ecuación de continuidad, y queda como consecuencia que la divergencia de la velocidad es nula.



*Figura 6 Representación gráfica de la variación espacio temporal, imagen propia.*

Si se aproxima la componente “x” de la velocidad con un desarrollo de Taylor se obtiene:

$$v_x(r, t) = v_x(r_0, t) + \nabla v_x(r_0) \cdot (r - r_0) + O(|h|^2) \quad (12)$$

Es importante aclarar que el valor absoluto de  $h$  está en relación con la variación que existe entre los puntos más cercanos de la función, es decir, representa la velocidad de cambio de la longitud y dirección de ese punto.

Análogamente para cada una de las coordenadas espaciales se tiene:

$$v_y(r, t) = v_y(r_0, t) + \nabla v_y(r_0) \cdot (r - r_0) + O(|h|^2) \quad (13)$$

$$v_z(r, t) = v_z(r_0, t) + \nabla v_z(r_0) \cdot (r - r_0) + O(|h|^2) \quad (14)$$

Donde  $\nabla v_x(r_0)$  es el gradiente usual de campos escalares:

$$\nabla v_x(r_0) = \left( \frac{\partial v_x}{\partial x}, \frac{\partial v_x}{\partial y}, \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) \Big|_{(r,t)=(r_0,t)} \quad (15)$$

Es importante comprender que, en el espacio euclidiano tridimensional, el concepto de gradiente también puede extenderse al caso de un campo vectorial, como por ejemplo el tensor gradiente de deformaciones que es representado por una matriz  $3 \times 3$ , dado que en coordenadas cartesianas está formado por las tres derivadas parciales de las tres componentes del campo vectorial. El gradiente de deformación estará bien definido sólo si el límite anterior existe para todo  $v$  es una función continua de dicho vector.

Si dada una deformación donde  $\nabla v$  es el conjunto de puntos del espacio ocupados por el medio continuo antes de la deformación y  $(\nabla v)^T$  el conjunto de puntos del espacio ocupados después de la deformación, entonces podemos definir el tensor gradiente de deformaciones como la matriz jacobiana, entonces el tensor gradiente de velocidad y su traspuesto (considerando  $(u, v, w)$  se define como:

$$\nabla v = \begin{bmatrix} \frac{\partial v_x}{\partial x} & \frac{\partial v_y}{\partial x} & \frac{\partial v_z}{\partial x} \\ \frac{\partial v_x}{\partial y} & \frac{\partial v_y}{\partial y} & \frac{\partial v_z}{\partial y} \\ \frac{\partial v_x}{\partial z} & \frac{\partial v_y}{\partial z} & \frac{\partial v_z}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (\nabla v)^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} & \frac{\partial u}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{\partial v}{\partial z} \\ \frac{\partial w}{\partial x} & \frac{\partial w}{\partial y} & \frac{\partial w}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Las componentes de la diagonal representan las tensiones normales y el resto de las componentes que forman el tensor representan los esfuerzos cortantes que actúan sobre el fluido.

Realizando una organización de los tensores como una expresión vectorial de la velocidad

con el desarrollo de Taylor obtenemos:

$$v(r, t) = v(r_0, t) + (\nabla v)^T(r_0) \cdot (r - r_0) + O(|h|^2) \quad (17)$$

Un punto de fluido en un flujo puede sufrir: traslación, rotación, cambio de forma lineal y angular, en un flujo donde el vector velocidad es igual en todos los puntos (flujo uniforme) solo existe traslación del elemento, pero en un flujo no uniforme existe además rotación y cambio de forma lineal y angular, a esto se le llama gradiente de velocidad. El tensor gradiente de velocidad se puede descomponer en uno simétrico y uno antisimétrico:

$$L = (\nabla v)^T = \frac{1}{2}(\Omega + \dot{\gamma}) \quad (18)$$

Definiendo el tensor vorticidad ( $\Omega$ ) y tensor velocidad ( $\dot{\gamma}$ ) de deformación respectivamente:

$$\Omega = (\nabla v)^T - (\nabla v) \quad \dot{\gamma} = (\nabla v)^T + (\nabla v) \quad (19)$$

Teniendo en cuenta que el tensor de tensiones viscosas es simétrico  $\tau = \tau^T$ , se puede probar que debe depender de un tensor simétrico y no de un antisimétrico, es decir no puede depender de  $\Omega$  pues no cumpliría con la condición de simetría.  $\tau$  será función de  $\dot{\gamma}$  para fluidos newtonianos incompresibles:  $\tau = -\mu\dot{\gamma}$ .

El gradiente del tensor de tensiones para el caso de viscosidad constante:

$$\nabla \cdot \tau = \nabla \cdot (-\mu\dot{\gamma}) = -\mu\nabla \cdot (\nabla v^T + \nabla v) \quad (20)$$

Además, si se considera la incompresibilidad se puede probar que:

$$\nabla \cdot \tau = -\mu\nabla \cdot (\nabla v^T + \nabla v) = -\mu\nabla^2 v \quad (21)$$

$$\rho \frac{dv}{dt} = \rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v \right) = -\nabla p + \mu\nabla^2 v + \rho g \quad (22)$$

Ecuaciones de Navier Stokes

En primera medida es importante reconocer el hecho de combinar las ecuaciones fundamentales de movimiento y la ecuación constitutiva de la elasticidad lineal, es decir la ecuación de Hooke de forma general para medios isótropos, deformación y tensiones pequeñas, se logra obtener la ecuación diferencial de Navier que caracteriza la elasticidad lineal.

$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v \right) = -\nabla p + \mu\nabla^2 v + \rho g \quad (23)$$

A partir de esto se expresa la ecuación de acuerdo con cada una de las coordenadas espaciales X, Y y Z lo que permite obtener:

Para X:

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (24)$$

Para Y:

$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (25)$$

Para Z:

$$\rho \left( \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) - \rho |g| \quad (26)$$

Ahora bien, el valor de g (gravedad) solo se tiene en cuenta en estos sistemas de ecuaciones, pero tan solo permanece en la última coordenada Z puesto que esta fuerza sólo actúa sobre el eje z.

El comportamiento dinámico de los fluidos está regido por las ecuaciones de conservación de la masa, la energía y la cantidad de movimiento, en el caso más general las ecuaciones de Navier-Stokes que son ecuaciones diferenciales no lineales presentan las siguientes características: son dependientes del tiempo, tridimensionales, incluyen esfuerzos viscosos, consideran la compresibilidad del fluido, son ecuaciones en derivadas parciales y no lineales, esta derivada parcial permite derivar con respecto a cada una de las variables de la función manteniendo las otras como constantes. para así poder calcular la pendiente de la recta tangente a dicha función, por otra parte los sistemas no lineales representan sistemas cuyo comportamiento no es expresable como la suma de los comportamientos de sus descriptores, además estas ecuaciones se encuentran acopladas entre sí aunque en la mayoría de los casos es posible reducir el análisis mediante las siguientes condiciones: la reducción de dimensiones para el caso de problemas estacionarios, imponiendo condiciones de contorno que no varían con el tiempo, aproximando el comportamiento del fluido (incompresible, no viscoso) o simplificando las fuerzas que actúan sobre el fluido.

El estudio de los fluidos es bastante complejo debido al número de moléculas que contienen, es por esto que se utiliza la teoría de los medios continuos, lo que permite considerar el fluido como un campo continuo en el cual cada punto permite representar un volumen lo suficientemente pequeño como para ser definido mediante un diferencial, teniendo en cuenta lo anterior debido a que algunos tipos de fluidos no pueden ser descritos mediante la

caracterización planteada por Newton, pueden ser analizados desde los medios continuos que permiten realizar un análisis más consciente del movimiento que obtienen los fluidos al aplicarse ya sea una variación de temperatura, tensión o variaciones en la velocidad.

### **CAPÍTULO III: PROPUESTA DE ENSEÑANZA PARA EL CONCEPTO DE VISCOSIDAD**

Construir un escenario de enseñanza-aprendizaje se considera reto para los maestros, es por esto por lo que se busca una acción transformadora, la cual en algunos casos se encuentra indicada en los objetivos de aprendizaje de los maestros o de las instituciones, por consiguiente, plantea aquí un desafío que tiene como fin la construcción de una nueva arquitectura en los procesos de enseñanza en el que se dé cuenta del contexto histórico, epistemológico y físico, donde en la enseñanza de las ciencias se resalta la importancia de un contexto para la producción de saberes que posibilite la construcción de relaciones entre el estudiante y su mundo natural.

En la actualidad la ciencia está cada vez más presente en la vida cotidiana, por ende, es necesario hacerla accesible a la mayor parte de los estudiantes. No obstante, diversos datos revelan que éstos, en vez de asimilar las teorías y modelos científicos enseñados en clase, estos siguen interpretando el mundo según esquemas intuitivos o culturales ajenos a la ciencia. Por otra parte, cada vez hay más profesores de ciencias que comprueban que algunos estudiantes apenas presentan un mínimo interés en ese saber científico y tienen también serias dificultades para utilizarlo en la resolución de problemas escolares o de la vida cotidiana.

(Pozo & Gómez, 2009) en su libro “Aprender y enseñar ciencia” afirman que la crisis de la educación se debe a la dificultad que presentan los estudiantes para encontrar sentido a los conceptos se debe a los cambios epistemológicos, ontológicos y conceptuales que se dan en el proceso de aprendizaje ya que también se deben enfrentara a cambios aptitudinales y procedimentales, de tal manera que se evidencia ese cambio del conocimiento cotidiano al científico. En este libro los autores mencionan que efectivamente en la enseñanza de la ciencia



hacer uso de la enseñanza tradicional no es significativa puesto que los estudiantes solo se concentran en cumplir parámetros establecidos para aprobar la asignatura, es decir obtiene un conocimiento superfluo de los conceptos mas no se realiza ese cambio epistemológico y ontológico por lo tanto la enseñanza de la ciencia debe buscar nuevas alternativas que permitan realizar estos cambios siempre teniendo presente su cotidianidad y la forma de explicar los fenómenos físicos a partir de experiencias significativas.

Además, en esta propuesta se enfoca en el aprendizaje activo de los estudiantes para la construcción de su aprendizaje, ya que mediante este se logra dar sentido al mundo que le rodea, ya que le permite ver con mayor coherencia y establecer relaciones con aquel mundo que le rodea y sus esquemas cognitivos, así como es mencionado por Piaget: “El objetivo principal de la educación en las escuelas debería ser la creación de hombres y mujeres que son capaces de hacer cosas nuevas, no simplemente repetir lo que otras generaciones han hecho; hombres y mujeres que son creativos, inventivos y descubridores, que pueden ser críticos, verificar y no aceptar, todo lo que se les ofrece” Jean Piaget.

En este sentido mediante una estrategia basada en el aprendizaje activo del estudiante a través de una experiencia de colaboración y reflexión individual en forma permanente, de manera que se promueva en los estudiantes las habilidades de búsqueda, análisis y síntesis de información, así como la adaptación activa de los conceptos para la solución de problemas. Por otra parte, es así como el docente resignifica su rol y se convierte en diseñador de experiencias de aprendizaje que guía y monitorea, orientando el logro de los objetivos de aprendizaje, fomentando el uso de recursos educativos, de tecnologías digitales y motivando a sus estudiantes a que también resignifiquen su rol para que de esta manera se reconozcan como participantes activos y comprometidos con su propio aprendizaje

Por tanto, se considera importante reconocer que los procesos de enseñanza-aprendizaje deben convertirse en experiencias contextualizadas, para lo que se hace necesario ir más allá de lo que se encuentra en los libros de texto de enseñanza de la física propuestos por las editoriales, dado que la enseñanza de las ciencias se ha centrado únicamente desde algunos de estos en las teorías. Desde esta perspectiva se hace trascendental comprender la relación fundamental que existe entre la historia y la enseñanza, la cual permite comprender y reflexionar acerca de los fenómenos y problemáticas que dan origen a los resultados del proceso que desenvuelve toda la actividad científica.

### **3.1 Presentación de la propuesta**

Para esta propuesta se plantea que el docente realice inicialmente un pretest, el cual está caracterizado como la técnica de investigación cuya finalidad es predeterminar la comprensión de un concepto, en este caso el concepto de viscosidad, el cual está dirigido a un grupo con el objetivo de observar el proceso de determinar el desarrollo y avance en el proceso de enseñanza-aprendizaje, utilizando este tipo de herramienta que permitirá reconocer la apropiación y reflexión de los conceptos.

Este tipo de herramientas permite evidenciar algunas falencias que se pudieran presentar en el aula, las cuales contribuyen al desinterés por aprender ciencias por parte de los estudiantes, una de estas falencias puede estar dirigida a la búsqueda de resolver fórmulas o ecuaciones sin brindar la posibilidad de reflexionar acerca del fenómeno y hacer un análisis un poco más profundo sobre el mismo, es decir hacer énfasis en incentivar la parte técnica dejando de lado el análisis del problema, donde se evidencia que en el currículo, se sigue enseñando ciencias a partir de un proceso repetitivo que solo tiene como objetivo evidenciar que el estudiante maneja la técnica de solución de problemas, mas no de una comprensión, interiorización y reflexión del problema estudiado.

Por otra parte, se debe tener en cuenta que como docentes de la Licenciatura en Física es necesario generar nuevas actividades que permitan llevar al aula los diversos temas a abordar, reemplazado el proceso repetitivo de solución de ecuaciones por la construcción de conocimiento, de tal manera que se incentive la búsqueda de significados e interpretaciones de los problemas que se plantean en el aula teniendo en cuenta el método científico y las concepciones epistemológicas. Cuando se habla de concepciones epistemológicas hace referencia a las concepciones científicas, pero también a aquellas que tienen los estudiantes, es decir, aquellos conocimientos previos con los cuales forman conceptos intuitivos.

Este planteamiento se hace necesario en las instituciones, puesto que se evidencia que una población considerable de colegios no cuenta con material de laboratorio para la clase de mecánica de fluidos, y en ocasiones esto es lo que conlleva al aprendizaje por repetición que no permite la interacción sensorial con el fluido, es decir no se logra llegar a una apropiación del concepto a partir de la actividad experimental.

Para llevar a cabo un cambio sobre un grupo particular al llegar al tema de mecánica de fluidos se propone realizar un test de conocimientos previos, ya que, mediante esta herramienta se puede reconocer las fortalezas y falencias del tema a estudiar, realizando un análisis respecto a las actitudes de los estudiantes frente al comportamiento de los fluidos de tal manera que se logre evidenciar los conceptos intuitivos y así plantear estrategias por medio de actividades experimentales que promuevan el interés por el fenómeno y por la construcción de conocimiento sobre el concepto de viscosidad y las teorías científicas de tal manera que sea flexible para el estudiante comprender los conceptos mediante algunos cambios conceptuales.

Partiendo de lo anterior se plantea la prueba de conocimientos previos (Anexo 1) que le brindará al docente un panorama de los saberes intuitivos del estudiante, previo al abordaje de forma experimental y teórico el concepto de viscosidad que presenta un fluido, en este caso de los no newtonianos y más específicamente los fluidos dilatantes

Una vez se realice la prueba de conocimientos previos se considera que el contexto histórico del concepto de viscosidad, es de vital relevancia para el proceso de enseñanza-aprendizaje ya que permite la reestructuración de saberes de los estudiantes, es por esto que como primera actividad se plantea realizar un juego de rol en el cual los estudiantes asumirán el personaje de cada uno de los autores mencionados en el presente trabajo, quienes permitieron el desarrollo conceptual de la viscosidad en el transcurso de la historia.

De tal manera que se emplee el juego como una herramienta didáctica que incentive y permita al estudiante tener un acercamiento al contexto histórico del concepto de viscosidad, además de reconocer formas alternativas de pensar desarrollando relaciones interpersonales y habilidades de comunicación para así facilitar la transferencia del aprendizaje de conceptos (Anexo 2). Finalmente el docente realiza un análisis de los aspectos evidenciados en el desarrollo la actividad, teniendo en cuenta cuál era la situación o reto que afrontan los protagonistas del juego, es decir, la caracterización del concepto de viscosidad desde los diferentes aportes realizados para llegar a este, partiendo de esto el docente invita a los estudiantes a que opinen de manera argumentada y reflexiva sobre las acciones o decisiones que tomaron los distintos personajes, además sobre el desenlace o resultado logrado.

Posteriormente se plantea realizar una actividad experimental (Anexo 3) como lo es la carrera de monedas, en el cual se utilizaran diferentes tipos de fluidos con viscosidades diferentes, luego se soltaran monedas sobre estos para evidenciar con que rapidez caen al fondo del recipiente, a partir de esto se puede comprender conceptos y explicar el comportamiento de los fluidos desde cómo fluye la sangre a través del cuerpo humano o incluso la fricción que está presente en nuestro día a día o cuando se pulsa los frenos de la bicicleta que es lo que permite que esta paré, también es lo que hace que los zapatos se agarren al suelo evitando resbalar, reconociendo que la fricción es la oposición al movimiento de los cuerpos y se encuentra en todos los elementos ya sean sólidos, líquidos o gaseosos, es así que se busca que

el estudiante explique y reconozca las diferencias entre los conceptos como la densidad, la viscosidad y la fricción, lo cual es mucho más sencillo mediante una actividad experimental.

Desde la clase de Física es importante no confundir los conceptos de viscosidad y densidad en los fluidos, dado que la densidad es la relación entre la masa y el volumen de un líquido, y la viscosidad nos indica una cualidad, la que tienen los fluidos a fluir que se relaciona directamente con la fricción, de manera que la actividad le permita al estudiante responder de forma reflexiva y argumentativa interrogantes como: ¿Qué es la viscosidad? ¿Qué es la densidad? ¿Qué es la fricción?

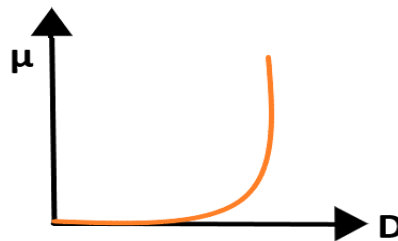


Figura 7 Curva de viscosidad para un fluido dilatante, imagen propia.

Luego se plantea la siguiente actividad experimental (Anexo 4) que consiste en mezclar maicena con agua generando un fluido llamado "no newtoniano" más específicamente un fluido dilatante, es decir, que no tiene una viscosidad definida, ya que esta varía según la velocidad de cizalladura como se muestra en la Figura 7. Por medio de ésta el estudiante observará como la viscosidad aumenta de forma exponencial desde un valor inicial a medida que aumenta la velocidad de cizalla hasta un punto en el que la viscosidad es tan alta que se comporta como un sólido, reflexionando sobre lo sucedido en la actividad experimental.

Por ende, esta actividad brinda al estudiante herramientas que le permiten reconocer el comportamiento de los diferentes tipos de fluidos mediante la actividad experimental elaborada a partir de la mezcla de maicena y agua (fluido no newtoniano- dilatante). Es así como se evidencia que un fluido newtoniano y uno no newtoniano presentan una viscosidad diferente

ya que, los fluidos newtonianos presentan una viscosidad constante, es decir, que no cambia ni se altera por aspectos externos, sin embargo, la viscosidad de los fluidos no newtonianos no está definida que esta puede variar según la temperatura o presión que se aplique en el fluido.

Lo que conduce a la característica más destacable de los fluidos no newtonianos pueden actuar como un líquido o como un sólido, cuando un fluido de este tipo se somete a fuerzas o presiones su viscosidad aumenta, un fluido no newtoniano en reposo actúa como un líquido, sin embargo, si se golpea la superficie del fluido su viscosidad aumenta debido a la fuerza ejercida haciéndolo actuar como un sólido.

Finalmente, con la última actividad (Anexo 5) se pretende que el estudiante obtenga una apropiación del concepto de viscosidad, entendiendo este como una propiedad de los fluidos equivalente a la resistencia que tienen ciertas sustancias para fluir o sufrir deformaciones graduales producidas al estar sometidos a una fuerza o tensión cortante. En este sentido se propone modelar la actividad experimental con elementos como el agua y el aceite, de modo que brinde herramientas para comprender en qué consiste la diferencia de viscosidad y densidad.

Es importante que el estudiante reconozca que la densidad es una magnitud escalar que permite medir la cantidad de masa que hay en determinado volumen de una sustancia, es decir, la relación entre masa y volumen así sea de un material, líquido, sólido o gaseoso.

Además de que el estudiante pueda comprender que cuando un fluido es obligado a moverse, dichas partículas que lo componen generan resistencia es decir fricción, retardando o impidiendo el desplazamiento, esto se debe a que el líquido se compone por varias capas de materia, que tienden a mantenerse juntas entre sí incluso ante presencia de fuerzas externas.

Las actividades presentadas anteriormente proporcionan herramientas al docente de tal manera que permite afrontar las dificultades y problemáticas en aula de clase a lo largo del proceso de enseñanza aprendizaje de la física, en específico de la mecánica de fluidos en

relación a conceptos como el de viscosidad, permitiéndole al estudiante reconocer y diferenciar los diferentes conceptos de modo que pueda entablar una relación con su entorno llevándolos a una reestructuración de saberes hacia el contexto histórico en el que surgen los diferentes conceptos a partir de la interacción obtenida de las actividades experimentales posibilitando la reflexión al momento de argumentar o relacionar el concepto de viscosidad.

## CONCLUSIONES

Al realizar el recorrido histórico y matemático entorno a la formalización del concepto de viscosidad, se obtuvieron las herramientas para abordar el estudio de la mecánica de fluidos, resaltando la relación de este recorrido con la enseñanza en el aula de clase y planteando una forma alternativa de generar un aprendizaje significativo para los estudiantes de forma transversal, partiendo del entorno físico y la relación ciencia tecnología y sociedad, establecidos en los DBA.

Desde el aspecto conceptual, a medida que existía un avance en los experimentos y la teoría para caracterizar la viscosidad de los fluidos, se logra evidenciar que tanto en los fluidos newtonianos como los no newtonianos ésta se relaciona con el esfuerzo de corte y la deformación que pueda tener el fluido; caracterizando la viscosidad, desde los dos análisis y definiéndola por el comportamiento de un fluido a partir del esfuerzo aplicado y la velocidad de deformación que tiene el material.

La propuesta presentada en este documento se estructura de forma que, al llevar al aula la ciencia como un producto que aún no está terminado (como se suele pensar), aporta un espacio en el que se construya los conceptos mediante el pensamiento crítico y reflexivo. Es por esto por lo que una revisión histórica tiene el potencial de evidenciar el proceso de construcción del concepto a partir de las reflexiones propias de los autores que trabajaron en éste en cada época.

El trabajo desarrollado, permitió reflexionar sobre el avance teórico en la definición del concepto de viscosidad a partir de los fluidos no newtonianos, teniendo presente que en este aspecto se está investigando actualmente, centrándose en la industria. Por otra parte, puede generar en el docente cuestiones alrededor de cómo se está llevando la clase de mecánica de fluidos y cómo se está impartiendo el concepto de viscosidad en ésta, ya que, las actividades propuestas concluyen en un esfuerzo por aclarar la diferencia que existe entre los conceptos de densidad y viscosidad, especialmente teniendo en cuenta que no solo se trabaja desde los



fluidos newtonianos, y que los fluidos no newtonianos exhiben cambios mas evidentes en la viscosidad frente al esfuerzo cortante.

## REFERENCIAS

- Ana, C., & Lourdes, P. (2008). LA INVESTIGACIÓN ACCIÓN. *Revista de Educación Laurus* Vol.14, 96-114.
- Angarita Osorio, W., Pardo Borda, A. L., & Martínez Velásquez, N. Y. (2019). La enseñanza de mecánica de fluidos en básica secundaria mediante la experimentación. Bogotá.
- Barnes, A., Hutton, F., & Walters., K. (1989). *An introduction to rheology*.Ámsterdam: El sevier science publishers B.V.
- Bausela, E. (s.f.). LA DOCENCIA A TRAVÉS DE LA INVESTIGACIÓN–ACCIÓN. *Revista iberoamericana de educación*.
- Becerril, B. I. (2015). La reología en el proceso de micro fluidez en pastas de mortero de cementos Portland Mexicanos. México.
- Bingham (1916). An investigation of the laws of plastic flow.
- César Vial R, Guillermo Sánchez M, Nelson Moraga B. (2002). Estudio de fluidos no newtonianos con los métodos de volúmenes y elementos finitos. Chile.
- Chang, R. (2010), Química. (10ª Ed.). China: McGraw-Hill
- Chitiva, J. A. (2013). Análisis conceptual en la mecánica de fluidos: Las líneas de flujo como concepto organizador. Bogotá.
- Daza Sarmiento, E. H. (2012). Los fluidos y sus formas extrañas. Bogotá.
- Echeverry, H. G. (2017). La enseñanza de la física moderna en la educación básica: una aproximación desde el principio de incertidumbre. Bogotá.
- Foronda, C. M. (2014). La experimentación mental en la formación de maestros de ciencias: Una alternativa para la enseñanza de la física moderna. Medellín.
- García, R. (2008). Conceptualización de la viscosidad de un fluido líquido, a través de una unidad didáctica e implementando como herramienta el viscosímetro de flotación. Bogotá.
- Gómez, E., Andrade, J., Santoyo, E. y Urquiza, G., 2009. Determinación de la viscosidad y su incertidumbre en fluidos de perforación usados en la construcción de pozos geotérmicos: aplicación en el campo de Los Humeros, Puebla, México. En: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. , 26ª ed. pp.516-529.

- González Hidalgo, M. (2017). Simulación de gases a partir de sismos volcánicos tipo tornillo por medio del resonador de Helmholtz, un acercamiento hacia las variables de presión, temperatura y los fenómenos ondulatorios. Bogotá.
- González, R. A. (2019). Análisis experimental de fluidos no newtonianos sometidos a impactos. Ciudad de México.
- Herreras, E. B. (s.f.). La docencia a través de la investigación-acción. España.
- Latorre, A. (2003). *La investigación-acción Conocer y cambiar la práctica educativa*. Barcelona: Editorial Graó, de IRIF, S.L.
- LLorens, D. C. (2015). Comportamiento de fluidos no newtonianos en intercambios de calor tubulares con rascador alternativo. Cartagena.
- López Bustos, V. E. (2017). El comportamiento de los fluidos: explicaciones de estudiantes de undécimo grado. Bogotá.
- Martínez, V. J. (2018). Deducción y estudio teórico y computacional de las ecuaciones que determinan la dinámica de un fluido. Barcelona.
- Mendez A. (2010). Determinación de la viscosidad de fluidos newtonianos y no newtonianos (una revisión del viscosímetro de Couette). *Lat. Am. J. Phys. Educ.* Vol. 4, No. 1, Jan. 2010
- Newton, I. (1687). *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Londres, obra donde recoge sus descubrimientos en mecánica y cálculo matemático.
- Oviedo Gamboa, J. E. (2017). El método de los operadores lineales como alternativa en la descripción del régimen ondulatorio en una capa de fluido. Bogotá.
- Pacheco Sarmiento, E. A. (2016). Interpretación geométrica desde las formas diferenciales: ecuación de continuidad y ecuación de vorticidad. Bogotá.
- Pardo, A., Angarita, W., & Martínez, Y. (2019). La enseñanza de Mecánica de Fluidos en Básica Secundaria mediante la experimentación. *Revista científica universidad distrital*, 96-105
- Pedrero, D. A. (2011). Arrastre Incipiente de Partículas en Flujos de Fluidos no Newtonianos. Chile.
- Peña Leguizamón, Y. A. (2018). Propuesta didáctica para el desarrollo de habilidades cognitivas en física desde el estudio de la mecánica de fluidos y la aplicación de sus principios al análisis de un cohete hidráulico. Bogotá.
- Porrero D. (2017). Estudio del comportamiento de un STU utilizando fluidos dilatantes. España.
- Quecedo & Castaño (2003). Introducción a la metodología de investigación cualitativa. *Revista de Psicodidáctica*, nº 14 - 2003 Págs. 5-40 .

Pozo, J. I., & Gómez, M. A. (2009). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento científico al conocimiento cotidiano*. Madrid: Ediciones Morata S.L.

R.Hooke( 1678). Lecturas “Da potentia restitutiva”.

Rubén, B., Bonilla, J., Carrillo, T., & Escalona, J. (2010). *Alternativa didáctica: la educación inclusiva “una experiencia con mecánica de fluidos”*. Buenos Aires.

Ruiz Bautista, J. M. (2015). *Estrategias para favorecer el aprendizaje significativo de la dinámica de fluidos en las estudiantes del grado décimo del colegio Madre Elisa Roncallo*. Bogotá.

Serway (1999). *Física para ciencias e ingeniería Volumen 1*. Editorial Cengage Learning.

STEFFE, J.F. 1996. *Rheological Methods in Food Process Engineering*, 2nd Ed. Freeman Press, East Lansing, Michigan State, USA.

Stokes, S. G. (1850). ON THE EFFECT OF THE INTERNAL FRICTION OF FLUIDS ON THE MOTION OF PENDULUMS. Cambridge: Transactions of the Cambridge Philosophical Society.

Velásquez, H. J. (2006). *Reología de fluidos no newtonianos y su aplicación en el área de alimentos*. Medellín.

Temam, R. (1995). *Navier–Stokes equations and nonlinear functional analysis*. Filadelfia: Society for Industrial and Applied Mathematics.

## ANEXOS

### UNIDAD DIDACTICA ENTORNO A LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE VISCOSIDAD DESDE LOS FLUIDOS NEWTONIANOS Y NO NEWTONIANOS

La presente propuesta de unidad didáctica está dirigida a estudiantes de grado decimo y undécimo debido a que en los Estándares Básicos de Competencias y los Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA), se encontró que para estos grados se debe explicar el comportamiento de fluidos en movimiento y en reposo, abordado algunos conceptos como la viscosidad, densidad entre otros, sin embargo, en este caso se enfocara al estudio del concepto de viscosidad, esta unidad se presenta como propuesta debido a que no fue posible implementarla.

#### 1. ¿Que se quiere que aprendan?

Características de los fluidos y tipos de fluidos a partir del concepto de viscosidad: densidad vs viscosidad, presión y fuerza de cizalladura, velocidad de movimiento relativo en un fluido.

- **Conceptos e ideas fundamentales.**

Tipos de fluidos, conceptos de viscosidad, densidad, fuerza, presión, masa, volumen, temperatura.

- **Habilidades y destrezas.**

Para la presente propuesta, se puede señalar que los fluidos desempeñan un papel crucial en muchos aspectos del mundo actual; la mecánica de fluidos es fundamental en campos tan diversos como en la aeronáutica, la ingeniería industrial, la biomédica, la ingeniería civil, entre otras. Cuando se habla de un fluido se puede hacer referencia a diferentes características de estos, por ejemplo, cómo hacer impulsar un barco en el mar, como generar movimiento en los

molinos de viento, como represar toda el agua que se necesita para una ciudad. Además, es importante conocer los movimientos internos que ocurren en los seres vivos, debido a que estos se basan en principios físicos; por ejemplo, el cuerpo humano está constituido por gran parte de fluidos como la sangre, que ejercen presión en el interior de nuestro organismo, estos fluidos también están descritos por leyes físicas, que son expresadas por medio de las magnitudes físicas se pueden medir: viscosidad, fuerza, densidad, velocidad, distancia, tiempo, aceleración, entre otras.

En este sentido, se considera relevante reconocer las características y los diferentes tipos de fluidos lo que permitirá a los estudiantes establecer una relación con su cotidianidad y de este modo entender algunas situaciones de su entorno en su diario vivir, permitiéndole apropiarse de los conceptos e ir más allá del desarrollo matemático, potenciando el pensamiento científico e investigativo en ellos, teniendo presente que nuestra metodología de trabajo para esta propuesta está directamente relacionada con el carácter investigativo autónomo en relación con las practicas experimentales presentadas. Es decir, generaremos en el estudiante la investigación en relación con las practicas experimentales para así mediante este trabajo dual obtener un acercamiento al concepto de viscosidad.

Además, es importante reconocer que la actividad experimental ha sido de gran importancia no solo para la enseñanza de las ciencias, sino para la filosofía e historia de las ciencias, por esto, es de vital importancia caracterizarla para así poder comprender los múltiples usos que se le dan a la actividad experimental dentro del aula de clase.

La actividad experimental desempeña un papel importante debido a que despierta y desarrolla la curiosidad de los estudiantes, ayudándolos a resolver problema, explicar y comprender los fenómenos con los cuales interactúan en su cotidianidad.

### **1. ¿En qué sesiones se divide?**

La propuesta se divide en cinco sesiones, donde cada una tiene una duración de aproximadamente 80 minutos. En este sentido se inicia con la sesión uno que es un examen de diagnóstico. Este dará paso a la siguiente sesión en la que se realizará una actividad conceptual mediante un juego de roles con el que se pretende hacer una contextualización histórica alrededor de los fluidos newtonianos y no newtonianos, enfatizando en el concepto de viscosidad y a su vez reconociendo la importancia del contexto histórico para el desarrollo de los conceptos. Después se presentan tres sesiones más que se basan en actividades experimentales sencillas de realizar y con materiales asequibles. Con estas tres actividades experimentales se pretende que los estudiantes se apropien del concepto de viscosidad de manera que lo puedan relacionar con situaciones de la vida cotidiana e incluso dar algunas nociones para comprender un poco más lo que ocurre con los fluidos en nuestro cuerpo, con el fin de que puedan construir con sus propias palabras y mediante la experiencia el concepto de viscosidad, además de poder caracterizar e identificar algunos tipos de fluidos.

## **2. La secuencia de actividades en cada sesión.**

Las sesiones se estructuraron de la siguiente manera:

**Sesión I:** Examen de diagnóstico, ¿Qué es un fluido y sus características? (Anexo 1)

**Tiempo:** 2 Horas.

**Lugar:** Aula de clase.

**Propósito:** Conocer los conceptos previos que tiene los estudiantes alrededor de los fluidos, los tipos de fluidos, las características de los fluidos.

**Conceptos previos:** Ninguno.

**Conceptos construidos:** Que es un fluido, tipos de fluidos y características de los fluidos.

**Sesión II:** Actividad conceptual-Juego de rol, solidos o líquidos (Anexo 2)

**Tiempo:** 2 Horas.

**Lugar:** Aula de clase.

**Propósito:** Reconocer la importancia del contexto histórico alrededor del desarrollo de la mecánica de fluidos, desde los newtonianos y no newtonianos, enfatizando en la construcción del concepto de viscosidad a través de los diferentes autores que hicieron parte de los desarrollos matemáticos que han permitido llegar al concepto de viscosidad que se conoce hoy en día.

**Conceptos previos:** Que es un fluido, tipos de fluidos y características de los fluidos.

**Conceptos construidos:** Tipos de fluidos, viscosidad.

**Sesión III:** Actividad Experimental 1- Carrera de monedas (Anexo 3)

**Tiempo:** 2 Horas.

**Lugar:** Laboratorio o aula de clase.

**Propósito:** Comprender algunos conceptos de la mecánica de fluidos mediante actividades experimentales, además poder diferenciar el concepto de viscosidad, densidad y fricción, además de reflexionar sobre lo que ocurre en esta actividad y poder asociarlo a situaciones de su vida cotidiana.

**Conceptos previos:** Tipos de fluidos, viscosidad.

**Conceptos construidos:** Densidad, viscosidad, fricción.

**Sesión IV:** Actividad Experimental 2- Mezcla de maicena con agua (fluido no newtoniano)  
(Anexo 4)

**Tiempo:** 2 Horas.

**Lugar:** Laboratorio o aula de clase.

**Propósito:** Reconocer el comportamiento de los diferentes tipos de fluidos mediante la actividad experimental de maicena y agua (fluido no newtoniano), de tal manera que se logre



diferenciar entre fluidos newtonianos y no newtonianos haciendo énfasis en la viscosidad que caracteriza a cada uno de estos fluidos.

**Conceptos previos:** Tipos de fluidos, viscosidad.

**Conceptos construidos:** Fluidos newtonianos, fluidos no newtonianos, viscosidad, fricción, fuerza, presión.

**Sesión V:** Actividad Experimental 3- Reloj de agua (Anexo 5)

**Tiempo:** 2 Horas.

**Lugar:** Laboratorio o aula de clase.

**Propósito:** Construir un reloj de agua para explicar mediante la experimentación algunos conceptos propios de la mecánica de fluidos, como lo son la viscosidad y la densidad, de manera que se puedan establecer diferenciar entre estos conceptos y comprender en mayor grado el concepto de viscosidad, además de poder relacionarlo con su entorno, experiencias de la vida cotidiana, reconocer la importancia y las aplicaciones de los fluidos en diferentes áreas como la ingeniería, aeronáutica, biomédica, entre otras.

**Conceptos previos:** Fluidos newtonianos, fluidos no newtonianos, viscosidad, fricción, fuerza, presión.

**Conceptos construidos:** Fluidos newtonianos, fluidos no newtonianos, viscosidad, densidad, fricción, fuerza, presión.

## ANEXO 1: Examen de diagnóstico:

El presente examen de diagnóstico tiene como finalidad hacer un acercamiento a los conocimientos previos construidos en la clase de física y conceptos intuitivos constituidos a partir de experiencias cotidianas sobre mecánica de fluidos por parte de los estudiantes.

**Objetivo:** Identificar los conocimientos previos de los estudiantes en relación con el comportamiento de los fluidos y su viscosidad.

**Pretensiones:** Indagar y analizar los conceptos previos que tiene los estudiantes, con la finalidad de relacionarlos e implementar las actividades experimentales para la reestructuración del conocimiento científico.

### Habilidad

Caracterizar: Es una operación en la que se establece una comparación con otros objetos de su clase y de otras para así seleccionar los elementos que lo tipifican o los rasgos distintivos, de manera que se distinga claramente de los demás objetos.

APROXIMACIÓN AL CONCEPTO DE VISCOSIDAD	
ASIGNATURA: Física	TEMA: Mecánica de Fluidos
Nombre del estudiante:	
Fecha	TIEMPO DE RESPUESTA 80 MINUTOS
DIAGNOSTICO REALIZADO POR: Leidy Vargas, Geraldine Lugo.	APLICADO POR:
<b>IMPORTANTE:</b> Responda las siguientes preguntas teniendo en cuenta lo visto en clase de Física sobre mecánica de fluidos, y su propia experiencia.	

1. Defina con sus palabras que entiende por “fluido”:

2. ¿Mencione lo tipos de fluidos que conoce?

3. Defina con sus palabras que es fricción, y mencione un ejemplo.

4. Qué considera que es la densidad en un fluido, proponga un dibujo sobre una situación donde se evidencie la densidad de un fluido.

5. ¿Qué piensa que es la viscosidad de un fluido? ¿Cómo sabemos que un fluido es más viscoso que otro?

6. ¿Existe alguna diferencia entre densidad y viscosidad? Si, No ¿Por qué? (Puedes utilizar algunos ejemplos relacionados con líquidos de uso cotidiano para argumentar tu respuesta)

7. Desde lo abordado frente al comportamiento de los fluidos en clase de Física, defina y ejemplifique que es un Fluido Newtoniano y sus características.

8. En mecánica de fluidos se mencionan diferentes teorías en relación con el comportamiento de los fluidos, es por esto por lo que en algunos casos se habla de los FLUIDOS NO NEWTONIANOS. ¿Los has escuchado mencionar? Si es posible, presente un ejemplo o una situación.

### **ANEXO 2. Actividad Conceptual 1-Juego de rol: solidos o líquidos.**

En vista que se considera que el contexto histórico del concepto de viscosidad es de vital relevancia para el proceso de enseñanza-aprendizaje que permita la reestructuración de saberes

de los estudiantes, se plantea realizar un Juego de Rol en el cual los estudiantes asumirán el personaje de cada uno de los autores mencionados en el presente trabajo, de manera que se traiga al contexto actual todo el proceso y las consideraciones que se hicieron para llegar a el desarrollo conceptual de la viscosidad.

Juego de Rol: Consiste en hacer que los participantes simulan personajes definidos con antelación, y de esta forma, se ponen en el puesto de rol y pueden observar desde diferentes perspectivas los comportamientos de cada actor según el papel que ejerce.

### **JUEGO DE ROL: SOLIDOS O LIQUIDOS**

**Objetivo:** Emplear el juego como una herramienta didáctica que incentive y permita al estudiante tener un acercamiento al contexto histórico del concepto de viscosidad trayéndolo a colación con el contexto actual.

**Pretensiones:** Reconocer formas alternativas de pensar desarrollando relaciones interpersonales y habilidades de comunicación para así facilitar la transferencia del aprendizaje de conceptos.

#### **Procedimiento:**

##### **1. Contextualización:**

En este primer paso el docente debe presentar el contexto de la historia de la viscosidad, partiendo desde el carácter filosófico como la afirmación de “todo fluye”, lo que expresa Newton en los principia matemática, como también lo que menciona Hooke en relación con el aspecto experimental, y las aplicaciones de este concepto a través del tiempo, puesto que a partir de este se desarrollará el juego, Además debe determinar los actores y sus características, cuidando de establecer sus concepciones en torno al tema,

haciendo claridad sobre los recursos que tienen los distintos actores, y presentar las reglas de juego.

## **2. Organización:**

Debido a que es una actividad planteada para ser realizada en aula de clase es importante establecer quienes participarán en los roles, y quienes serán los espectadores, teniendo como precedente que el docente será el director y narrador del juego. Además, se comunica a los estudiantes que el juego de roles no es solo representar un papel, sino apropiarse del mismo e involucrarse en el contexto histórico en que se desarrolló la teoría o concepto.

Para poner el juego en práctica es importante definir como se llevará a cabo la actividad, es por esto por lo que en un primer instante el docente organizará grupos de 5 integrantes, lo que permitirá definir cuál es el papel de cada uno, para finalmente generar un espacio de socialización de la actividad ante todo el curso.

Una vez conformado los grupos el docente presenta a los estudiantes la situación o contexto en la cual se desenvolverá el juego. Es importante señalar las condiciones que caracterizan a la situación, distinguiendo aquellas condiciones que los personajes pueden cambiar aquellas sobre las cuales no tienen influencia.

Luego de esto durante el desarrollo es importante que el docente recuerde que quien representa un personaje debe pensar, actuar y decidir como lo haría la persona a la que representa. Esto permitirá que al finalizar mediante una plenaria en el aula se resalte el sentido del juego el cual es “la historia de la mecánica de los fluidos”.

Es por esto por lo que para la construcción del guion se le sugiere al docente presentarle a los estudiantes un breve resumen histórico, para esto se tendrá el siguiente link:  
<https://drive.google.com/file/d/1HVcZoqmSage3mDVjI2kjfAP8Vad-fHgb/view?usp=sharing>

En el cual se encuentra un documento con las características históricas más relevantes.

### **3. Personajes:**

- Director o Narrador: Este cargo será ocupado por el docente, quien irá realizando la narración del desarrollo histórico del concepto de viscosidad.
- Isaac Newton: Estudiante.
- Robert Hooke: Estudiante.
- Eugene Bingham: Estudiante.

### **4. Desarrollo:**

En esta fase, es importante que el docente recuerde que quien representa un personaje debe pensar, actuar y decidir como lo haría la persona a la que representa.

### **5. Cierre:**

Finalmente se realiza un análisis de los aspectos evidenciados en la actividad, recordando cual era la situación o reto que afrontan los protagonistas del juego, es decir, la caracterización del concepto de viscosidad desde los diferentes aportes realizados para llegar a este, partiendo de esto el docente debe invitar a los estudiantes a que opinen de manera fundamentada sobre las acciones y decisiones que tomaron los distintos personajes, y sobre el desenlace o resultado logrado.

## **ANEXO 3. Actividad Experimental 1: Carrera de monedas**



Gracias a algunas actividades experimentales como por ejemplo la carrera de monedas, se puede comprender conceptos de manera práctica y con elementos muy asequibles para el desarrollo de las actividades experimentales, pues se evidencia que en la mayoría de los casos en las instituciones educativas no se tiene el material de laboratorio para el área de mecánica de fluidos, y gracias a estas actividades propuestas se puede explicar desde cómo fluye la sangre a través del cuerpo humano o incluso la fricción que está presente en nuestro día a día, como, por ejemplo, cuando se pulsa los frenos de la bicicleta que es lo que permite que esta pare, también es lo que hace que los zapatos se agarren al suelo evitando que resbales. La fricción es la oposición al movimiento de los cuerpos y se encuentra en todos los elementos ya sean sólidos, líquidos o gaseosos.

**Objetivo:** Explicar y reconocer las diferencias entre los conceptos como la densidad, la viscosidad y la fricción.

Se considera que es más sencillo abordar estos conceptos desde una actividad experimental, debido a que mediante la experimentación el estudiante puede reflexionar acerca de dicha práctica y apropiarse del concepto. Un ejemplo que permite comprender algunas características es pedir al estudiante sacar un poco de miel del recipiente y así se dará cuenta de que es más difícil hacerlo si hace frío que si es un día cálido, dado que a medida que cuando el fluido se enfría aumenta su viscosidad y resistencia.

**Materiales:**

- Monedas (todas de la misma denominación)
- Vasos o botellas altos (cuanta más altura tenga mejor) y transparentes, todos del mismo tamaño.
- Fluidos: agua, miel, aceite y opcionalmente glicerina.

- 1 celular para grabar

**Procedimiento:**

1. Se llena cada uno de los recipientes con un fluido diferente, pero siempre hasta la misma altura, y observa como cada líquido tiene una viscosidad distinta.



**Figura 8** *Imagen propia, Representación gráfica del experimento Anexo 3, sustancias con las que se pretende realizar la practica*

2. Dos estudiantes sostienen una moneda en cada mano y las sueltan al mismo tiempo desde la misma altura.
3. Mientras tanto, otra persona tendrá que grabar lo que sucede para que luego puedan ver la carrera repitiendo la grabación y puedan descubrir cómo bajan las monedas por el fluido.



**Figura 9** *Imagen propia, Representación gráfica experimento anexo 3, se dejan caer las monedas en dos fluidos.*

4. Otra variación que se puede hacer es poner los fluidos en el refrigerador y ver como su viscosidad es diferente a cuando están a temperatura ambiente, de igual modo se puede calentar los fluidos y observar que también varía su viscosidad.

**Explicación:**

Cuando se vierte los fluidos en los recipientes, es muy probable que se observe que algunos son más espesos y es más complicado verterlos en los vasos, de igual modo ocurre cuando se lanza las monedas, ya que estas caen más lentas en los líquidos más viscosos, como la miel, frente a los que lo son menos, como el agua. Esto sucede porque los más viscosos tienen más resistencia y esta cualidad dificulta el movimiento de la moneda.

Es importante no confundir los conceptos de viscosidad y densidad en los fluidos, dado que la densidad es la relación entre la masa y el volumen de un líquido, y la viscosidad nos indica una cualidad, que es la que tienen los fluidos a fluir que se relaciona directamente con la fricción.

**Preguntas orientadoras:**

1. ¿Al realizar el experimento puede afirmar que las monedas llegarán al fondo al mismo tiempo? Explique por qué.
2. ¿Cómo la practica experimente permite generar una definición de viscosidad?
3. ¿Cómo se puede relacionar la caída de las monedas en los fluidos con el concepto de densidad?
4. ¿A partir de la práctica experimental que puede inferir del término “Fricción”? Explique por qué.
5. ¿Qué hace que las monedas lleguen al fondo en esos tiempos?

## **ANEXO 4. Actividad Experimental 2: Mezcla de maicena con agua (fluido no newtoniano)**

La actividad experimental consiste en mezclar maicena con agua generando un fluido llamado "no newtoniano", es decir, que no tiene una viscosidad constante, en este caso particular, cuando le aplicamos mucha presión a este fluido, se comporta como un sólido elástico, mientras que, si le aplicamos poca presión lo hace como un líquido, por lo cual, se hace notorio que la viscosidad es la cantidad que diferencia a los tipos de fluidos. Esta es otra actividad experimental que requiere de elementos asequibles y además permite que el estudiante tenga un acercamiento a los fluidos no newtonianos, e interactúe con estos haciendo una construcción del concepto desde su experiencia de manera que se apropie del mismo.

### **Objetivo:**

Reconocer el comportamiento de los diferentes tipos de fluidos mediante la actividad experimental elaborada mediante de la mezcla de maicena y agua (fluido no newtoniano), se explicará la diferencia entre fluidos newtonianos y no newtonianos y estos últimos se abordarán más en profundidad, con el objetivo de encontrar físicamente la diferencia que existe entre un fluido newtoniano de uno no newtoniano mediante el concepto de viscosidad.

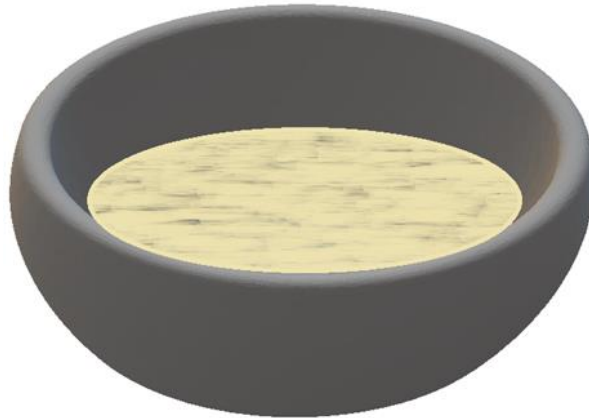
### **Materiales:**

- Maicena o harina de maíz.
- Agua.
- Un recipiente grande.

### **Procedimiento**

Para iniciar la practica experimental se aclarar que existe una proporción entre la cantidad de

sustancias por cada dos tazas de maicena se debe agregar una taza de agua en el recipiente que vayamos a usar, con una cuchara se revuelve la mezcla hasta que consigamos la textura deseada que es similar a una crema o pasta, en caso de ser necesario para encontrar la consistencia deseada agregar agua poco a poco.



**Figura 10** *Imagen propia, Representación gráfica del experimento Anexo 4, mezcla fluido no newtoniano*

Para comprobar que hemos conseguido la textura idónea, tan sólo tenemos que dar un golpe seco o ejercer fuerza y observaremos que la mezcla se mantiene sólida, mientras que si metemos la mano lentamente la mezcla actuará como un líquido. A partir de ahora, se puede jugar a moldear rápidamente una bola para que no se deshaga y comprobar cómo al parar de moldear la sustancia se "derrite" entre los dedos, también se puede jugar a dar un puñetazo a la mezcla o a aplicar mucha presión sobre ella de cualquier otra manera, en cualquier de estos casos se observa su cambio de comportamiento.

### **Explicación:**

El punto clave que diferencia un fluido newtoniano de uno no newtoniano es su viscosidad, los fluidos newtonianos presentan una viscosidad constante, no cambia ni se altera por aspectos externos, sin embargo, la viscosidad de los fluidos no newtonianos no está definida es decir que esta puede variar según la temperatura o presión que se aplique en el fluido.

Lo que conduce a la característica más destacable de los fluidos no newtonianos, pueden actuar como un líquido o como un sólido, cuando un fluido de este tipo se somete a fuerzas o presiones su viscosidad aumenta, un fluido no newtoniano en reposo actúa como un líquido, sin embargo, si se golpea la superficie del fluido su viscosidad aumenta debido a la fuerza ejercida haciéndolo actuar como un sólido.

**Preguntas orientadoras:**

- ¿Desde su experiencia se puede inferir que todos los fluidos son iguales? ¿Por qué?
- Desde el ámbito académico y su experiencia mencione que tipos de fluido conoce y presente un ejemplo.
- A partir de la práctica experimental ¿Cómo definiría la viscosidad?
- Sabemos que existe una variedad de fluidos en nuestra cotidianidad, a partir de esto y la practica experimental responda la siguiente pregunta: ¿Qué es un fluido newtoniano?
- ¿Cómo se puede definir un fluido no newtoniano? Tenga en cuenta la practica experimental realizada.

## ANEXO 5: Actividad Experimental 3: Reloj de agua

El concepto de viscosidad se refiere a una propiedad de los fluidos equivalente al concepto de espesor, es decir, a la resistencia que tienen ciertas sustancias para fluir o sufrir deformaciones graduales producidas al estar sometidos a una fuerza o de tensión cortante. En este sentido se propone modelar la actividad experimental con elementos como el agua y el aceite, de manera que brinde herramientas al estudiante para comprender en qué consiste la diferencia entre viscosidad y densidad.

**Objetivo:** Construir un reloj de agua para explicar algunas características propias de la mecánica de fluidos como lo es la viscosidad y densidad de estos, por medio de esta actividad experimental reconocer las diferencias entre los conceptos ya mencionados.

### **Materiales:**

- 1 litro de aceite.
- 2 botellas de 1 litro vacías.
- Agua.
- Colorante alimenticio.
- Tijeras.
- Cinta aislante.
- Embudo.
- Pitillos de plástico.
- Silicona caliente.

### **Procedimiento:**

1. Usando la silicona caliente unir las dos tapas de plástico de las botellas vacías, reforzar las tapas con la cinta aislante para evitar que los líquidos se derramen.
2. Teniendo ya unidas las tapas realizarle dos orificios con las tijeras.

3. Terminando de hacer los orificios del tamaño que se desee uno de cada lado de la tapa, reforzarlos con silicona caliente.

4. Llenar una de las dos botellas con un litro con agua, procura no llenar completamente.

Teniendo la botella con agua se agrega unas gotas de colorante y se sella con el tapón de esta botella.

5. Usando el embudo llenar la botella restante con aceite, para finalizar rápidamente se une las dos botellas y se cierra con el otro tapón sobrante la botella de aceite.



**Figura 11** *Imagen propia, Representación gráfica experimento Anexo 5, carrera de gotas*

**Explicación:**

El intercambio de fluidos puede variar a causa de la temperatura y/o la presión que hay en el



ambiente, además el efecto del reloj de agua, solo funciona cuando el agua está arriba y esto se debe a que la densidad del agua es mayor que la del aceite, es decir que ocupando el mismo volumen en este caso un litro el agua pesa más que el aceite y por eso la gota baja, no obstante la gota de agua viajará más lenta cuando atraviesa el aceite en cambio la gota de aceite va más rápida cuando atraviesa el agua, esto se debe a que la viscosidad del aceite es mayor y por decirlo de alguna manera sencilla a el agua le cuesta más trabajo moverse o atravesar el aceite.

Es importante comprender que la densidad es una magnitud escalar que permite medir la cantidad de masa que hay en determinado volumen de una sustancia, es decir es la relación entre masa y volumen, así sea de un material, líquido, químico o gaseoso.

Además, todos los fluidos poseen viscosidad, a excepción de los fluidos ideales, debido a las colisiones entre sus partículas que se mueven a diferentes velocidades. Así, cuando el fluido es obligado a moverse, dichas partículas generan resistencia de fricción, retardando o impidiendo el desplazamiento, esto se debe a que el líquido se compone por varias capas de materia, que tienden a mantenerse juntas entre sí incluso ante presencia de fuerzas externas.

### **Preguntas orientadoras:**

La práctica experimental permite observar el intercambio de fluidos a partir de esto ¿cómo crees que se puede determinar la diferencia entre viscosidad y densidad?

A partir de la observación puede inferir que ¿la gota de aceite o la de agua viaja más rápido?, explique por qué piensa que sucede esto.

¿Qué cree que sucedería si invertimos el experimento, cambiando la posición de los fluidos?

Al realizar la practica experimental se observa que los fluidos tienen un comportamiento ¿Por

qué cree que sucede esto con el agua y el aceite?