

**LA EXPERIMENTACIÓN EN EL ESTUDIO DE CARACTERÍSTICAS  
DEL COMPORTAMIENTO DE LOS LÍQUIDOS EN SU CAÍDA**

Una propuesta de enseñanza para grado octavo

Ángela Liliana Talero Mesa

**Universidad Pedagógica Nacional**

**Departamento de Física**

**Línea de Profundización: La Actividad Experimental para la Enseñanza de la Física**

**Bogotá D.C.**

**2023**

# **LA EXPERIMENTACIÓN EN EL ESTUDIO DE CARACTERÍSTICAS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS LÍQUIDOS EN SU CAÍDA**

Una propuesta de enseñanza para grado octavo

Ángela Liliana Talero Mesa

2014246053

Trabajo de grado para optar al título de Licenciada en Física

**Directora del trabajo:** Marina Garzón Barrios

**Universidad Pedagógica Nacional**

**Departamento de Física**

**Línea de Profundización: La Actividad Experimental para la Enseñanza de la Física**

**Bogotá D.C.**

**2023**

***Dedicatoria***

*A mi gato, Friedrich. Que se ha embarcado en un viaje hacia las estrellas.*

## ***Agradecimientos institucionales***

*“El camino del progreso no es ni rápido ni fácil”*

*Marie Curie*

- Agradezco a la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia por contribuir a mi crecimiento intelectual, fomentar mi actitud crítica y ser mi escuela política
- Al departamento de Licenciatura en Física
- A la Línea de Profundización: "La Actividad Experimental para la Enseñanza de la Física"
- A los maestros y maestras de la línea de profundización, agradezco sus constantes aportaciones a mi trabajo de grado
- Al pequeño grupo de niños y niñas de octavo del Colegio Heladia Mejía, sin cuyas contribuciones este trabajo no se habría enriquecido
- Al Seminario de Experimentos Importantes en la Historia de la Física (2023-II), gracias por permitirme concluir la implementación de mi proyecto

## *Agradecimientos personales*

### *Agradezco profundamente a mi familia*

Quiero agradecer principalmente a mi familia por su apoyo y paciencia con mi proceso, por decirme que SÍ cuando el mundo dijo mil veces que no. A mi madre, Martha, por sus cuidados y ánimos a lo largo de estos años. A mi padre, Paco, por transmitirnos desde niños a mi hermano y a mí, la curiosidad y la actitud crítica hacia la ciencia, y por ser el principal formador en mis conocimientos en Física. También agradezco a Felipe Cáceres: "*En algún lugar algo increíble está esperando ser descubierto*" (Carl Sagan). Nos conocimos en esta casita UPN; su apoyo, su amor y las historias que hemos construido juntos han sido fundamentales para terminar este proceso con éxito, a él le debo la *resiliencia* que logré fortalecer en estos últimos años. A mi hermano Johannes, por sus consejos a lo largo del pregrado y ayuda en matemáticas cuando lo necesité. A mi abuela María, que sabe que tenemos una promesa por cumplir. A Tefa y a mis michis *Friedrich, Heidi, Luno, Iris* y Sora que siempre estuvieron y siguen ahí acompañándome a su manera.

### *A mis amigos y amigas*

Igualmente, un agradecimiento especial a la profesora Marina Garzón, por creer en mí, en este proyecto de investigación, por las charlas y las mañanas y tardes de café, acompañadas de buenas conversaciones que ayudaron a las reflexiones de este documento y a la vida misma.

A mis grandes compañeros y amigos durante estos años, Lorena y Duvan, por todas esas aventuras y conversaciones que se sostuvieron en estos pasillos. Cuántas anécdotas por recordar...

*Y finalmente*, un agradecimiento especial a Miguel Ángel Niño. Recuerdo sus palabras: "Si quieres volver a comenzar, dale una oportunidad a la Pedagógica". Efectivamente, tenía toda la razón. Gracias.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. Objetivo general .....	3
1.2. Objetivos específicos.....	4
<b>2. CAPÍTULO UNO: SOBRE EL FENÓMENO DE LA CAÍDA DE LOS LÍQUIDOS Y PRIMEROS ANTECEDENTES</b> .....	6
2.1. Relación física y matemática.....	7
2.1.1. <i>La relación de aplicación y Relación relativa a casos particulares</i> .....	7
2.1.2. <i>Relación constitutiva</i> .....	8
2.1.3. <i>Relación constitutiva y la caída de los líquidos</i> .....	9
2.2. Teorema de Torricelli.....	10
2.2.1. <i>El estudio de la hidráulica en Roma, Leonardo Da Vinci y Galileo Galilei</i> .....	10
2.2.2. <i>La influencia de los trabajos de Galileo</i> .....	11
2.2.3. <i>Evangelista Torricelli</i> .....	14
2.3. Un Acercamiento al Teorema de Torricelli.....	15
2.3.1. <i>Proyectiles y chorros</i> .....	15
2.4. Otras perspectivas para comprender el Teorema de Torricelli.....	20
2.4.1. <i>La ecuación de Bernoulli</i> .....	20
2.4.2. <i>El Teorema de Torricelli como caso particular de La Ecuación de Bernoulli</i> .....	25
2.4.2. <i>Volvamos al problema de los tres chorros</i> .....	27
2.5. Explorando algunas características de los fluidos.....	29
2.5.1. <i>Discutamos sobre la Reología</i> .....	29
2.5.3. <i>Fluidos Newtonianos y No Newtonianos</i> .....	31
2.5.3. <i>Fluidos Pseudoplásticos</i> .....	31
2.5.4. <i>Características Particulares de Fluidos Pseudoplásticos</i> .....	32

2.5.5. <i>Tixotropía, dependientes del tiempo</i> .....	32
2.5.6. <i>Ejemplos Prácticos de Tixotropía</i> .....	33
2.6. Un Acercamiento desde la descripción fisicomatemática a la velocidad terminal de Ley de Stokes con relación al fenómeno de la caída de los líquidos .....	33
<b>3. CAPÍTULO DOS: ACTIVIDADES EXPERIMENTALES PARA LA ENSEÑANZA DEL COMPORTAMIENTO DE LOS LÍQUIDOS EN SU CAÍDA</b> .....	<b>36</b>
3.1. La actividad experimental en la propuesta .....	36
3.1.1. <i>La actividad experimental</i> .....	36
3.1.2. <i>Los niños y niñas del Colegio Heladia Mejía</i> .....	37
3.1.3. <i>Los estudiantes de la Universidad Pedagógica Nacional</i> .....	37
3.2. Experimentos.....	39
3.2.1. <i>Ley de Stokes junto con el fenómeno de la flotación</i> .....	40
3.2.2. <i>Reología, fluidez de la miel y el jabón y Problema del tubo con la fluidez de la miel, jabón y alcohol</i> .....	40
3.2.3. <i>El problema de los 3 chorros</i> .....	41
3.2.4. <i>Actividades experimentales: Jugando con líquidos y otras paradojas de Torricelli</i> .....	41
3.2.5. <i>Fases de desarrollo</i> .....	42
<b>4. CAPÍTULO III: LA IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LA PROPUESTA DE AULA</b> .....	<b>44</b>
4.1. Actividades Experimentales para la Enseñanza del Concepto de Densidad (fase I).....	45
4.1.1. <i>Taller No 1: “Ordenando los fluidos a través de su densidad”</i> .....	45
4.1.1.1. <i>Actividad 1: “características de los fluidos en su fluidez”</i> .....	45
4.1.1.2. <i>Actividad 2: “flota o se hunde”</i> .....	49
4.1.1.3. <i>Actividad 3: “masa y volumen”</i> .....	50
4.1.1.4. <i>Actividad 4: “midiendo densidades, relacionando la masa y el volumen”</i> .....	54
<b>5. CAPÍTULO IV. RESULTADOS DE LA PROPUESTA DE AULA</b> .....	<b>58</b>

5.1. Resultados de la Fase 1. Las características y el comportamiento de los líquidos a través del estudio de la variable de la densidad.....	58
5.2. Resultados de la Fase 2. Las características y el comportamiento de los líquidos a través del estudio de la viscosidad.....	60
5.3. Resultados de la Fase 3. Estudio de Características del Comportamiento de los Líquidos en su Caída, Teorema de Torricelli .....	62
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>64</b>
6.1. Reflexiones finales.....	67
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>71</b>
7.1. Anexo 1: Tablas de fases.....	72
7.1.1. Tabla fase I.....	72
7.1.2. Tabla fase II.....	73
7.1.3. Tabla fase II.....	74
7.2. Anexo 2: Cartilla de actividades experimentales que se llevaron al aula .....	75
7.2.1. ACTIVIDADES EXPERIMENTALES PARA LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE DENSIDAD (FASE I).....	77
7.2.2. ACTIVIDADES EXPERIMENTALES PARA LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE VISCOSIDAD (FASE II).....	85
7.2.3. ACTIVIDADES EXPERIMENTALES PARA LA ENSEÑANZA Y ESTUDIO DE CARACTERÍSTICAS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS LÍQUIDOS EN SU CAÍDA (FASE III).....	91
7.3. Anexo 3: Implementación y análisis de la propuesta de aula.....	96
7.3.1. Actividades Experimentales para la Enseñanza del Concepto de Viscosidad (fase II).....	96
7.3.2. Actividades Experimentales para la Enseñanza y Estudio de Características del Comportamiento de los Líquidos en su Caída (fase III) .....	105
7.3.2.1. Resultados sesión uno: .....	106

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Fuente: propia.</i> .....	39
<i>Tabla 2. Se muestra la propuesta general que se lleva el aula para la enseñanza del fenómeno del comportamiento de los fluidos con respecto a su caída. Fuente: Elaboración propia.</i> .....	43
<i>Tabla 3. Elaboración propia.</i> .....	44
<i>Tabla 4. Elaboración propia.</i> .....	45
<i>Tabla 5. Elaboración propia.</i> .....	48
<i>Tabla 6. Elaboración propia.</i> .....	50
<i>Tabla 7. Elaboración propia.</i> .....	54
<i>Tabla 8. Elaboración propia.</i> .....	56
<i>Tabla 9. Elaboración propia.</i> .....	57
<i>Tabla 10. se muestra la propuesta que trae la fase. Fuente: Elaboración propia.</i> .....	72
<i>Tabla 11. se muestra la propuesta que trae la fase II. Fuente: Elaboración propia.</i> .....	73
<i>Tabla 12. se muestra la propuesta que trae el momento III. Fuente: Elaboración propia.</i> .....	74
<i>Tabla 13. Elaboración propia.</i> .....	78
<i>Tabla 14. Elaboración propia.</i> .....	82
<i>Tabla 15. Elaboración propia.</i> .....	84
<i>Tabla 16. Elaboración propia.</i> .....	86
<i>Tabla 17. Elaboración propia.</i> .....	98
<i>Tabla 18. Elaboración propia.</i> .....	99
<i>Tabla 19. Elaboración propia.</i> .....	100
<i>Tabla 20. Elaboración propia.</i> .....	102
<i>Tabla 21. Elaboración propia.</i> .....	103
<i>Tabla 22. Elaboración propia.</i> .....	104

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Fuente: Salvat y Sánchez, 1990, pág.32,33 y 34. [Figura 2,3 y5].</i>	6
<i>Ilustración 2. Dibujo de Leonardo Da Vinci, Fuente: Michelena, 1997, pág. 19.</i>	11
<i>Ilustración 3. Plano inclinado de Galileo Galilei. Fuente:</i>	
<i><a href="https://bestiariotopologico.blogspot.com/2016/08/galileo-galilei-y-su-ley-decada-libre.html">https://bestiariotopologico.blogspot.com/2016/08/galileo-galilei-y-su-ley-decada-libre.html</a></i>	12
<i>Ilustración 4. Portada de Opera Geometrica de Torricelli. Fuente: Torricelli. E. (1644). Opera Geometrica.</i>	14
<i>Ilustración 5. A su izquierda un tubo con dimensiones AB (a) y a su derecha tubos comunicantes con dimensiones ABC (b) Fuente: Torricelli (1644, pág. 191).</i>	15
<i>Ilustración 6. Un tubo con dimensiones AB y un chorro que sale de B a C. Fuente: Torricelli (1644, pág. 192)</i>	16
<i>Ilustración 7. Un tubo con dimensiones AB y chorros que salen en E y C. Modificado por Talero. Á, para su mejor entendimiento. Fuente: Torricelli (1644, pág. 1994).</i>	18
<i>Ilustración 8. Tubo con dimensiones AB acompañado de un semicírculo AHB y chorros que salen en E y C. Modificado por Talero, Á. para un mejor entendimiento. Fuente: Torricelli (1644, pág. 194)</i>	18
<i>Ilustración 9. Un tubo con dimensiones AB y chorros que salen en E, D y C. Modificado por Talero. Á, para su mejor entendimiento. Fuente: Torricelli (1644, pág. 194)</i>	18
<i>Ilustración 10. Un tubo con dimensiones AB y chorros que salen en CD. Fuente: Torricelli (1644, pág. 196)</i>	19
<i>Ilustración 11. Tubo en el cual fluye un flujo de agua. Fuente: Testbook</i>	20
<i>Ilustración 12. Fuente: Elaboración propia.</i>	26
<i>Ilustración 13. Fuente: Elaboración propia.</i>	27
<i>Ilustración 14. Relación geométrica de <math>AD - ED = AE</math> Fuente: Elaboración propia.</i>	28
<i>Ilustración 15. Relación geométrica de <math>\overline{AD} + \overline{ED} = \overline{EB}</math> Fuente: Elaboración propia.</i>	28
<i>Ilustración 16. Fuente: caloryfrio.com</i>	30
<i>Ilustración 17. Fuente: (Maldonado, 2020)</i>	31
<i>Ilustración 18. Fuente: (Maldonado, 2020)</i>	32
<i>Ilustración 19. Fuente: Elaboración propia.</i>	34
<i>Ilustración 20. Exp. de Flotación. Fuente: Elaboración propia</i>	40
<i>Ilustración 21. Exp. Viscosidad. Fuente: Elaboración propia</i>	40
<i>Ilustración 22. Exp. De Torricelli. Fuente: Elaboración propia.</i>	41

<i>Ilustración 23. Evidencia de las actividades hecha por los estudiantes. Fuente: propia</i> .....	49
<i>Ilustración 24. Dibujo hecho por los estudiantes. Fuente: propia</i> .....	50
<i>Ilustración 25. Evidencia de la actividad 4. Fuente: propia</i> .....	55
<i>Ilustración 26. Dibujo hecho por los estudiantes. Fuente: propia</i> .....	57
<i>Ilustración 27. Evidencia de la actividad 1. Fuente: análisis de estudiante 1</i> .....	63
<i>Ilustración 28. Fuente: propia</i> .....	76
<i>Ilustración 29. Fuente: <a href="https://definicion.de">https://definicion.de</a></i> .....	76
<i>Ilustración 30. Fuente: <a href="https://www.teorema.top/">https://www.teorema.top/</a></i> .....	76
<i>Ilustración 31. Fuente: 123RF, página web</i> .....	81
<i>Ilustración 32. Fuente: ¿Qué es el volumen?, video de YouTube</i> .....	83
<i>Ilustración 33. Fuente: Elaboración propia</i> .....	85
<i>Ilustración 34. Fuente: Elaboración propia</i> .....	88
<i>Ilustración 35. Fuente: Elaboración de vniversitat de valencia</i> .....	89
<i>Ilustración 36. Fuente: Elaboración propia</i> .....	91
<i>Ilustración 37. Fuente: Elaboración propia</i> .....	93
<i>Ilustración 38. Fuente: Elaboración propia</i> .....	94
<i>Ilustración 39. Evidencia de la actividad 2. Fuente: propia</i> .....	100
<i>Ilustración 40. Evidencia de la actividad 2. Fuente: propia</i> .....	101
<i>Ilustración 41. Evidencia de la actividad 3. Fuente: propia</i> .....	103
<i>Ilustración 42. Evidencia de la actividad 1. Fuente: video del grupo 1</i> .....	106
<i>Ilustración 43. Evidencia de la actividad 1. Fuente: video del grupo 2</i> .....	107
<i>Ilustración 44. Evidencia de la actividad 1. Fuente: video del grupo 3</i> .....	108
<i>Ilustración 45. Evidencia de la actividad 1. Fuente: análisis de estudiante 2</i> .....	110
<i>Ilustración 46. Evidencia de la actividad 1. Fuente: análisis de estudiante 3</i> .....	111
<i>Ilustración 47. Evidencia de la actividad 1. Fuente: análisis de estudiante 4</i> .....	111

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento, se muestran una serie de reflexiones en relación con el estudio del fenómeno de la caída de los líquidos en el cual se identifican características de la viscosidad o densidad a través de experimentos como los de Stokes o Torricelli utilizando el diseño experimental sobre el cual Torricelli desarrolla el teorema que lleva su nombre. Tales reflexiones permitieron la construcción de actividades experimentales para ampliar el campo de conocimiento de la mecánica de fluidos, dirigidas principalmente a estudiantes de bachillerato. Dichas actividades fueron implementadas en el I.E.D Colegio Heladia Mejía con estudiantes de grado octavo, aunque algunos experimentos de caída de líquidos se realizaron con estudiantes de la Universidad Pedagógica Nacional, con la finalidad de ver diferentes interpretaciones y problemas de conocimiento de los estudiantes. Se enfatiza que el proceso de enseñanza estuvo dirigido a grado octavo.

La enseñanza de la mecánica de fluidos en los cursos de Ciencias Naturales hace parte de los estándares básicos de la educación media que se encuentran establecidos por el Ministerio de Educación (MEN) en Colombia: se proyecta que los grados de décimo y undécimo:

- Identifiquen y expliquen ejemplos de modelos de mecánica de fluidos en los seres vivos.
- Expongan “aplicaciones tecnológicas del modelo de mecánica de fluidos”.
- Reconozcan el comportamiento de fluidos en movimiento y en reposo

(MEN, 2004, pág. 23-24).

Teniendo en cuenta estas proyecciones nos hemos preguntado: *¿Se está abordando en las escuelas colombianas la enseñanza de la mecánica de fluidos? ¿Y si se enseña para qué se enseña?* Con base en la experiencia adquirida en la práctica pedagógica notamos que se abordaba la temática a través de experimentos que buscan llegar directamente al planteamiento de una ecuación sobre la cual se reemplazan valores.

Por su parte, la literatura en la enseñanza-aprendizaje de la mecánica de fluidos, muestra diferentes dificultades que han tenido los estudiantes cuando abordan estas temáticas, como: reconocer las diferencias que tiene la viscosidad y la densidad, por ejemplo, algunos estudiantes suelen creer que al haber mayor viscosidad hay mayor densidad, igualmente hay problemas al hacer separación de conceptos de presión y fuerza (Lugo & Vargas, 2021, pág. 11).

Por otro lado, (Tovar, 2017) dice que la enseñanza tradicional sobre la mecánica de fluidos también tiene problemas porque los fenómenos físicos se explican primero ocupándose de la teoría como el eje principal y posteriormente se realizan experimentos para corroborar la teoría, lo que implica que no haya una verdadera conceptualización, pues el método de “receta” conduce a seguir unos pasos específicos que no exploran la diversidad del fenómeno estudiado, dando a entender que lo importante son los resultados finales. La mecánica de fluidos, esencial para el aprendizaje de las ciencias, pero igual que la mayoría de los campos de estudio de la física, se tiende a abordar desde una estructura temática y teórica en la que se suelen poner en segundo plano los fenómenos de estudio y por eso la experimentación para muchos docentes es únicamente ilustrativa (Garzón, Tarazona, Sandoval, Malagón, & María, 2020).

En este sentido, parece que aun los experimentos no tienen un papel notable en la enseñanza de las ciencias, hoy día todavía se considera que el laboratorio es una actividad que en sí misma invierte mucho tiempo, por lo cual se privilegia más la actividad teórica. También, se enseña a hacer experimentos, pero no a teorizar a partir de ellos. Como cita Hernández (2017) “Según Hodson (1994), los dos objetivos más predominantes en la enseñanza de la física son: la enseñanza de contenidos científicos y la enseñanza de los métodos y procedimientos para investigar y resolver problemas privilegiados por las comunidades científicas. Con frecuencia estos objetivos terminan traducéndose en dos visiones sobre la experimentación: como una actividad fundamentalmente práctica o como una actividad esencialmente teórica. En la primera, se considera que la experimentación se da sobre los objetos sin fundamentación teórica alguna (visión inductivista), en la segunda,

por el contrario, se considera que esta solamente tiene la función de corroborar teorías (visión verificatoria) (Koponen y Mäntylä, 2006)” (Hernández, 2017, pág. 28).

Con base en lo anteriormente expuesto, se puede aseverar que: 1) la mecánica de fluidos recibe una atención centrada en el resultado matemático de la teoría, en los niveles elementales de educación, lo que directamente lleva a tener pocas experiencias organizadas con relación a este tema, este panorama implica que queda mucho por hacer en el área y es necesario proponer alternativas diversas e interesantes que posibiliten comprender el comportamiento de los fluidos. 2) Consideramos que es importante enfatizar el vínculo estrecho entre la actividad experimental y los procesos de teorización en la enseñanza, que propenda como señala Hodson por excluir la separación frecuente entre teoría y experimentación. También Piaget (Centro de Psicoterapia Cognitiva, 2015, pág. 1) señalaba la importancia de la manipulación de objetos en los procesos constructivos de conocimiento.

Para nuestro interés y en el presente trabajo de investigación, optamos por diferentes tipos experiencias que permitieron llegar a una formalización del *fenómeno de la caída de los líquidos*, que igualmente fue pertinente para la comprensión de conceptos relacionados con el tema de los fluidos.

Según lo previamente mencionado, se generaron las siguientes preguntas de investigación:

*¿Qué tipo de actividades experimentales posibilitan caracterizar el comportamiento de los líquidos en caída?*

*¿Cuáles son las descripciones de los estudiantes sobre el comportamiento de los líquidos en caída, mediante estas actividades experimentales?*

### **1.1. Objetivo general**

Analizar las características del comportamiento de los fluidos que los estudiantes asignan a través del fenómeno de la caída de los líquidos cuando realizan actividades experimentales.

## **1.2. Objetivos específicos**

1. Construir un marco teórico basado en algunos temas específicos de la reología y los trabajos experimentales que realizaron Torricelli y G.G. Stokes, en torno al comportamiento de los líquidos en caída, para el diseño de actividades de aula.
2. A partir del marco teórico, hacer diferentes experimentos que recreen el fenómeno de la caída de los líquidos.
3. Diseñar una secuencia de actividades experimentales para que los estudiantes puedan caracterizar el comportamiento de los líquidos cuando estos caen.
4. Reconocer las explicaciones que hacen los estudiantes para caracterizar el comportamiento de los líquidos en su caída a partir de sus actividades experimentales.

Los diferentes antecedentes en este trabajo se encuentran entrelazados a lo largo de los diferentes capítulos. En el primer capítulo se presenta el marco teórico de esta investigación: se aborda un análisis sobre la relación física-matemática, el eje disciplinar sobre el fenómeno de los líquidos en caída, en el cual se destaca el trabajo de Torricelli, abordando conceptos como: el Teorema de Torricelli, también, la viscosidad de los líquidos, la Ley de Stokes y la densidad, trayendo a colación la reología como un campo de investigación importante para comprender las características de la viscosidad de los fluidos, sin abordar los problemas en cuanto a su deformación.

Ya en el segundo capítulo, se exponen los experimentos que nacieron a partir del marco teórico, que son las bases para el diseño de las actividades que se llevaron al aula de clases con el fin de que los niños y niñas tuvieran un acercamiento al problema. Igualmente, se muestra esas reflexiones sobre las consideraciones que se llevaron a cabo para el diseño de las actividades experimentales, se enfatiza cómo se entiende la actividad experimental en el aula en el presente trabajo, asimismo se presenta la secuenciación de actividades que se diseñaron para el aula, que está dividida en tres fases; empezando por actividades relacionadas con la densidad, seguido de la viscosidad y por último con base al Teorema de Torricelli y su montaje experimental.

En el tercer capítulo, se muestra la implementación y análisis de la propuesta de aula.

Para el cuarto capítulo, se muestra el análisis que surgió a raíz de la implementación de las actividades experimentales y las organizaciones de formalización que obtuvieron los estudiantes a partir de los fenómenos expuestos para saber la comprensión de los conceptos que darán respuesta a las características del comportamiento de los líquidos en caída.

Por último, se manifiesta una serie de conclusiones en el cual se describen las reflexiones finales de la eficacia y los problemas que se pudieron detectar durante el proceso, además, algunas sugerencias que serán pertinente para el futuro de este tipo de investigación.

## 2. CAPÍTULO UNO: SOBRE EL FENÓMENO DE LA CAÍDA DE LOS LÍQUIDOS Y PRIMEROS ANTECEDENTES

El fenómeno de la caída de los líquidos a través de un tubo con agujeros se estudia mediante el Teorema de Torricelli, el cual analiza el comportamiento de un chorro de agua al salir por uno o varios orificios ubicados a una cierta altura de un cilindro lleno de agua, la trayectoria del chorro es similar a una trayectoria semiparabólica. Este teorema, se nombra y se utiliza para enseñar conceptos de fluidos en diferentes contextos (clases de aula, experiencias de laboratorio, libros de texto escolar), sin embargo, a menudo es interpretada de manera incompleta, ya que es tomada como un problema de lápiz y papel y que queda reducido a la solución de la ecuación  $v = \sqrt{2gh}$  como señalan diversos autores (Atkin, 1988). En 1990 Salvat y Sánchez publicaron el artículo titulado “*Didáctica de la presión hidrostática: Experiencia de Torricelli*” que exponen la experiencia de Torricelli con una amplia diversidad de ejemplos y modificaciones al montaje experimental (ilustración. 1), este artículo demuestra que el fenómeno no se limita únicamente al estudio de un chorro de agua saliendo por un agujero, o al estudio del movimiento parabólico.

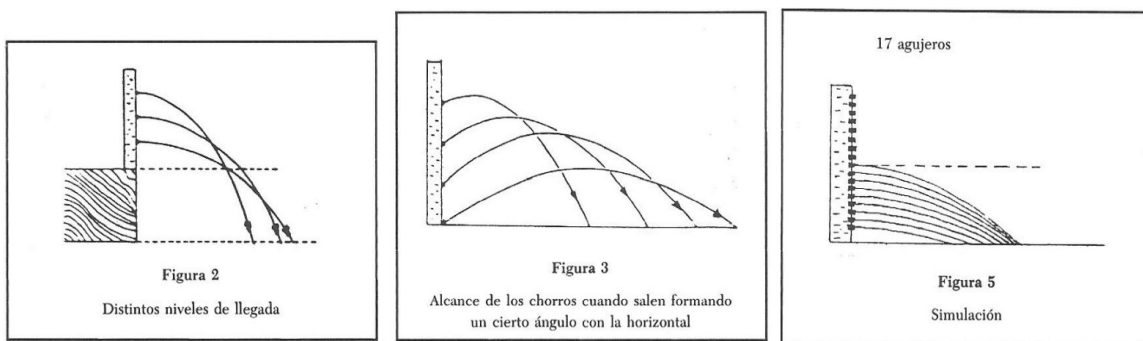


Ilustración 1. Fuente: Salvat y Sánchez, 1990, pág.32,33 y 34. [Figura 2,3 y5].

De acuerdo con lo anterior, nos hemos cuestionado si el teorema por sí solo, como nos lo ha presentado la literatura, ¿es suficiente para comprender el fenómeno de la caída de los líquidos? Asimismo, si la ecuación  $v = \sqrt{2gh}$  por si sola, ¿describe el comportamiento de los fluidos en caída? Esto nos llevó a reflexionar sobre cómo se establecen las relaciones entre la física y la matemática, y cómo podemos aprovechar esta reflexión para proponer actividades en el aula.

## **2.1. Relación física y matemática**

Lo más común que uno suele escuchar en el aula de clases o en el entorno académico cuando se habla de ciencias y específicamente de ciencias físicas, es su relación con las matemáticas, esto se refleja en afirmaciones como: “*la física es pura matemáticas*” o “*para entender la física hay que saberse las ecuaciones de memoria*”, estas aseveraciones llevan a pensar 1) qué ideas tienen los estudiantes, los maestros y las personas en general sobre la física, y 2) cuáles son las causas de las dificultades a la hora de enseñar la disciplina.

Para ampliar este tema, nos apoyaremos en las reflexiones del trabajo de Bonilla (2015, pág. 2), donde el autor nos presenta tres perspectivas distintas para entender la relación entre la física y las matemáticas:

- Relación de aplicación
- Relación relativa a casos particulares
- Relación constitutiva

Es importante destacar que la última de estas perspectivas, la relación constitutiva, juega un papel fundamental en la comprensión del problema de investigación relacionado con la caída de los líquidos que involucra para su comprensión: la física, la matemática y la actividad experimental.

Para empezar, es relevante resaltar en qué consisten la relación de aplicación y la relación relativa a casos particulares.

### ***2.1.1. La relación de aplicación y Relación relativa a casos particulares***

Una de las maneras cómo se ha pensado esta relación, ha sido desde una mirada de la separación de los objetos de estudio de la física y la matemática, como cita Romero, Rodríguez, & Aguilar (2008, pág. 106), “separación que conduce a concretar la relación entre estas disciplinas a través de una relación de aplicación”, esto quiere decir que; las matemáticas se ven como una herramienta en el cual ayuda a dar soluciones algún tipo de

problema de la física, y por otra parte la física es percibida como una aplicación de las matemáticas al mundo de los fenómenos, la relación está dada en términos de la aplicación.

Dando por sentado que la relación de aplicación se considera de una relación de "uso mutuo" y considerándolos como dos campos separados el uno del otro.

Por otro lado, según lo expuesto por Bonilla (2015, pág. 5), existen físicos y matemáticos que consideran que la relación física – matemática no puede considerarse completamente aplicativa. En momentos diversos de la historia, se ha observado que la construcción de la teoría física y los conceptos matemáticos surgieron de manera simultánea por diferentes autores, lo que indica que esta relación no fue de “uso mutuo”, sino más bien una génesis sincrónica. Ejemplo de esto incluye a figuras como Newton y Leibniz, con la creación de cálculo diferencial y la mecánica clásica. También hay casos particulares en los cuales la teoría y los conceptos matemáticos surgieron debido a la necesidad de resolver problemas físicos, o conceptos matemáticos que se desarrollaron siglos antes y luego se aplicaron para resolver problemas de la física, como el caso de la geometría de Riemann en relación con la Relatividad General de Albert Einstein.

En conclusión, se sugiere que la relación entre la física y la matemática puede ser aplicativa o constitutiva dependiendo del problema específico que se desee abordar, como menciona Tzanakis (2002).

### ***2.1.2. Relación constitutiva***

Hasta el momento se dio un vistazo a dos formas de ver la relación físico-matemática, pero hay una tercera que sugiere que, en el proceso de construcción de conocimiento, la física y la matemática son inseparables: la relación constitutiva.

En el caso de la física no se hace uso de las matemáticas porque sea una aplicación, sino porque constituye una forma de pensar el mundo, ejemplo de esto son las relaciones de proporcionalidad que se establece en fenómenos físicos, como el caso de un cuerpo que estira un resorte, no se puede entender el fenómeno en sí, si no se entiende la relaciones de proporcionalidad, entre; la fuerza elástica, la constante de la elasticidad y la deformación o

cambio en la longitud del resorte, esa idea de proporcionalidad constituye la forma de explicación del fenómeno. Esto significa que las relaciones de proporcionalidad se crean a través de variables y la relación entre variables, y esa relación es una relación matemática que colabora simultáneamente en el proceso de organización de un fenómeno físico.

### **2.1.3. Relación constitutiva y la caída de los líquidos**

En nuestro caso, nos hemos detenido para analizar con más detalle el fenómeno de la caída de los líquidos, a través del diseño experimental a partir del cual Torricelli desarrolla el teorema que lleva su nombre.

Ante todo, es importante resaltar que el objetivo principal de esta investigación no ha sido estudiar solo el Teorema de Torricelli, más bien, se ha buscado caracterizar y comprender cómo los fluidos se comportan en caída en circunstancias específicas, en este caso, estas circunstancias se relacionan con el montaje experimental, es decir, el cilindro con su agujero, que puede variar en tamaño y/o tener múltiples agujeros y los múltiples fluidos que pueden correr a través de éste. ¿Qué nos permitió este enfoque?, lograr identificar que hay dos características fundamentales que, a través de su estudio, nos permiten comprender el comportamiento de los líquidos en su caída: su *densidad* y *viscosidad*.

Estas dos características son primordiales, puesto que, dan cuenta de cómo caen los líquidos y que elementos hay que tener en cuenta en la caída. Una vez identificadas estas dos variables, la densidad y la viscosidad como características del fluido, ¿cómo se hace la organización de estas dos magnitudes?, por un lado, se puede decir que la densidad está relacionada con la cantidad de sustancia en una determinada cantidad de volumen, pero también, está relacionada con la caída de los cuerpos y los líquidos sobre otros líquidos, todos estos elementos son constitutivos, ¿en qué sentido constitutivo?, en que la comprensión de la densidad supera la idea de  $\frac{m}{v}$ , porque más allá de la ecuación, que se reconoce que existe y se puede medir a través de esa relación, igualmente se puede identificar cualidades de la densidad con el hecho de que haya cuerpos y fluidos que floten sobre otros fluidos o que algunos tipos de líquidos fluyan de determinada manera con relación a otros, ahí la fluidez está relacionada con la densidad y la viscosidad, ya que puede haber líquidos muy fluidos,

con poca viscosidad pero con mayor densidad, o líquidos poco fluidos con poca densidad pero mayor viscosidad, donde la viscosidad da cuenta de la fluidez de los líquidos. Caracterizar esas magnitudes es un proceso de organización y de formalización, donde hay una relación entre cómo se organiza la magnitud y cómo se mide. Organizar la magnitud es identificar cómo se mide y esa es una forma de organización de la relación físico-matemática para describir el fenómeno.

Entonces, las dos características importantes, densidad y viscosidad, han sido necesarias para ampliar el tipo de experiencias. Para ello, hemos estudiado el comportamiento de líquidos como el aceite o el jabón, esto implica hablar sobre algunas características de los fluidos a la luz de la viscosidad y la densidad.

Antes de abordar la viscosidad y la densidad, iniciaremos este análisis haciendo el siguiente recorrido: comenzamos por indagar el Teorema de Torricelli. Es importante para esta investigación reconocer de dónde nace nuestra inquietud por comprender las características de los fluidos en caída, lo que implica estudiar el teorema. Seguidamente, continuaremos con la viscosidad de fluidos en caída, incluyendo el caso particular de la ley de Stokes. ¡Empecemos!

## **2.2. Teorema de Torricelli**

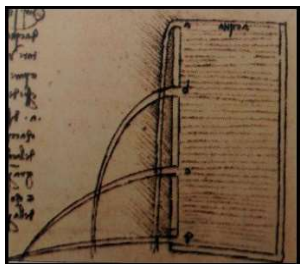
Para comenzar esta sección, exploraremos el contexto histórico en el cual Torricelli propone su teorema, puesto que, comprender los procesos históricos de cómo surge un problema en la física no es un proceso que se desarrolle espontáneamente, ni está basado únicamente en el trabajo de un solo autor.

### ***2.2.1. El estudio de la hidráulica en Roma, Leonardo Da Vinci y Galileo Galilei***

Siendo Roma, desde la antigüedad, una metrópolis en constante crecimiento surgió la necesidad de abastecer de agua a la ciudad. Para lograrlo, se vieron en la necesidad de traer el preciado líquido desde otros lugares, implicando la construcción de acueductos y sistemas de alcantarillado, mostrando el ingenio de los ingenieros romanos. Este proceso involucró estudiar las pendientes, la resistencia y la velocidad del flujo (Tovar, 2017, pág. 43),

demonstrando así las primeras nociones de la ingeniería hidráulica en Italia. Esto atrajo a varios académicos de la época para contribuir a este tema en particular.

Como nos comenta Tovar (Tovar, 2017, pág. 44), Leonardo Da Vinci (1452-1519), conocido por sus contribuciones en el campo de la arquitectura y la ingeniería, también incursionó en el ámbito de la hidráulica, construyendo canales abiertos para el desplazamiento del agua. En relación con el tema que nos ocupa, uno de los trabajos de Da Vinci estuvo relacionado con ciertas inquietudes que surgieron a partir de la observación y la experimentación al ver algunos comportamientos del agua en situaciones particulares. Buscó comprender la conducción del agua a través de tubos, lo cual, más adelante, combinado con otros intereses, como el tiro de proyectiles, lo llevó a estudiar la caída de varios chorros que salían por una serie de orificios distribuidos a diferentes alturas en un cilindro (véase ilustración 2). Esto representa uno de los primeros acercamientos al Teorema de Torricelli.



*Ilustración 2. Dibujo de Leonardo Da Vinci, Fuente: Michelena, 1997, pág. 19.*

En contraste, tenemos a Galileo Galilei (1564-1642) y su trabajo sobre el movimiento natural de los cuerpos, que sería fundamental para investigaciones posteriores en el campo de la hidráulica. Parte de su labor se basó en la comprensión de la inercia de los cuerpos, el movimiento uniforme rectilíneo, la caída libre y el movimiento ideal de proyectiles. Es importante hablar de los trabajos de Galileo, ya que Evangelista Torricelli, inspirado en su trabajo, daría lugar a su famoso teorema. Vamos a analizar el movimiento uniformemente rectilíneo y la caída libre, para ello, nos basaremos en las explicaciones de Tovar (2017) y Talero (2022).

### ***2.2.2. La influencia de los trabajos de Galileo***

Para empezar, Galileo brindó una explicación para el movimiento uniforme de los cuerpos, lo definió como: *“Entiendo como movimiento uniforme aquel cuyos espacios, recorridos por un móvil en cualesquiera tiempos iguales, son entre sí iguales”* (Galilei, 1945, pág. 200). En otras palabras, el movimiento uniforme es cuando un cuerpo recorre distancias iguales en tiempos iguales y en línea recta (Talero, 2022, pág. 5).

Supongamos que un objeto se mueve en línea recta a velocidad constante, en un tiempo  $t$ , recorre una distancia  $x$ . Continuando, en un tiempo  $t_2$ , recorre una distancia  $x_2$ , esto implica y, apoyándonos de la geometría euclidiana, se tiene la relación:  $\frac{x_1}{x_2} = \frac{t_1}{t_2}$ , que no es otra cosa que una relación de proporcionalidad. Esta relación nos indica que en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ , el cuerpo recorre las distancias  $x_1$  y  $x_2$  (Tovar, 2017). Galileo finalmente comentó: "*Si un objeto, que se mueve con movimiento uniforme y velocidad constante, recorre dos distancias, los tiempos de los trayectos son proporcionales a las distancias recorridas*" (Galilei, 1945, pág. 200).

Respecto a la caída de los cuerpos, Galileo discrepaba de Aristóteles. Mientras que Aristóteles relacionaba el movimiento natural con la pesadez de los cuerpos, Galileo no compartía esta visión y creía que debía haber otras explicaciones, para respaldar su perspectiva, se basó en la observación y la experimentación.

Su trabajo sobre los planos inclinados fue fundamental para comprender la caída de los cuerpos. Consistió en lo siguiente: dejaba caer una esfera de bronce sobre un plano inclinado hecho de madera o sobre betún (se embetunaba el plano con el fin de bajar el coeficiente de rozamiento), además, los planos se caracterizaron por ser lo bastante largos, aproximadamente 5m y con ángulos muy pequeños, valores entre  $9,5^\circ$  o  $10^\circ$ . El hecho de que los planos inclinados tuviera un coeficiente de rozamiento mayor implicaba aumentar su inclinación, por lo cual se veía necesario embetunarlos de esta forma, así,



*Ilustración 3. Plano inclinado de Galileo Galilei. Fuente: <https://bestiariotopologico.blogspot.com/2016/08/galileo-galilei-y-su-ley-decada-libre.html>*

Galileo suavizó los planos (esto no significaba que dejara existir la fricción), logrando así minimizar los errores en las mediciones de distancias y tiempos (Naranjo, 1988, pág. 61). Determinó que: "*Si un móvil con movimiento uniforme acelerado desciende desde el reposo, los espacios recorridos por él en tiempos cualesquiera están entre sí como la razón al cuadrado de los mismos tiempos, es decir como los cuadrados de esos tiempos*" (Galilei, 1945, pág. 200). En otras palabras, los cuerpos caen con aceleración constante y la distancia

recorrida por la esfera es directamente proporcional al cuadrado de los tiempos, como lo muestra la siguiente relación de proporcionalidad:  $\frac{x_1}{x_2} = \frac{t_1^2}{t_2^2}$ .

Cabe aclarar que Galileo no conoció con exactitud el valor de la aceleración ( $9,8 \frac{m}{s^2}$ ), ya que su trabajo sobre la caída libre se basó en relaciones de proporcionalidad, sin entender completamente el significado físico de esas proporciones. Según Naranjo (1988, pág. 66), Galilei logró hallar algunos valores de la aceleración de la gravedad, como 3,05 g, 4,57 g y 9,60 g, pero no pudo determinar con precisión cuál era el valor correcto, debido a su falta de conocimiento de las leyes del rodamiento, sin embargo, se sabe que estas imprecisiones en los valores no influyeron realmente en los experimentos que realizó. Asimismo, Galileo concluyó que, si algunos cuerpos caen más rápido que otros, se debe a la resistencia del medio en el cae.

Después de haber estudiado estos dos tipos de movimiento, Galilei centró su interés en el *movimiento de proyectiles*, que se compone de los dos movimientos nombrados anteriormente: un movimiento uniforme rectilíneo que se mueve en dirección horizontal y un movimiento uniforme acelerado, en la dirección vertical. La combinación de estos dos movimientos quedó reflejada en la siguiente reflexión de Galileo que escribió en “*Diálogos sobre dos Nuevas Ciencias*”, citada por Naranjo (1988, pág. 231), que dice:

*“Cuando observo por tanto una piedra que cae desde cierta altura, partiendo de una situación de reposo, que va adquiriendo poco a poco, cada vez, más velocidad ¿por qué no he de creer que tales aumentos de la velocidad no tengan lugar según la más simple y evidente proporción? Ahora bien, si observamos con cierta atención el problema, no encontraremos ningún aumento ó adición más simple que aquel que va aumentando siempre de la misma manera. Esto lo entenderemos fácilmente si consideramos la relación tan estrecha que se da entre tiempo y movimiento: **del mismo modo que la igualdad y uniformidad del movimiento se define y se concibe sobre la base de la igualdad de los tiempos y de los espacios (...), así también, mediante una subdivisión uniforme del tiempo, podemos imaginarnos que los***

*aumentos de velocidad tengan lugar con la misma simplicidad, (...) en cuanto determinemos teóricamente que un movimiento es uniformemente y, del mismo modo, continuamente acelerado, cuando en tiempos iguales, se los tome de la forma que se quiera, adquiera iguales incrementos de velocidad (...). Por eso, creo que no nos apartamos en absoluto de la recta razón si admitimos que la intensidad de la velocidad crece según el incremento del tiempo". (Naranjo, 1988, pág. 231)*

### **2.2.3. Evangelista Torricelli**

Continuando con esta narrativa, Evangelista Torricelli (1604-1647) un físico y matemático que fue secretario de Galileo cuando este se encontraba en sus últimos meses de vida, se familiarizó con los diversos trabajos realizados por su maestro, esta inmersión en el trabajo de Galileo le sirvió como inspiración para sus propias contribuciones en diferentes áreas de la ciencia, un ejemplo de su trabajo es la creación del barómetro de mercurio. Las ideas y el enfoque experimental de Galileo influyeron en los trabajos de Torricelli, esto se puede observar en los estudios recopilados en la "Opera Geometrica"<sup>1</sup> de 1644 (Sparavigna, 2013, pág. 2). En este conjunto de trabajos, se encuentra la obra titulada "Del Motu Proietorum" que contiene el capítulo "Desde Motu Aquarum", que se traduce al español como: "Sobre el Movimiento de los Projectiles" y "Del Movimiento del Agua" capítulo que es especialmente relevante puesto que proporciona una visión del desarrollo de su trabajo en el que consolida el teorema que lleva su nombre (Bistafa, 2014, pág. 1).

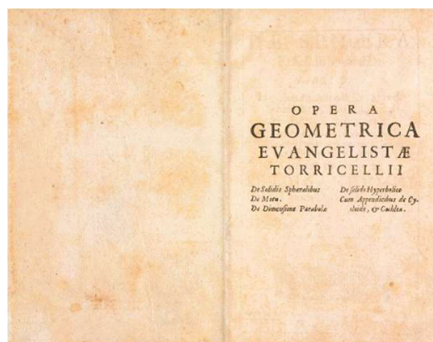


Ilustración 4. Portada de Opera Geometrica de Torricelli. Fuente: Torricelli. E. (1644). Opera Geometrica.

---

<sup>1</sup> Queremos informar al lector que somos conscientes de que la palabra "Geometrica" lleva tilde en la segunda 'e'. Sin embargo, optaremos por respetar la palabra en *latín*, que es el idioma original en el que fue escrito el trabajo de Torricelli.

## 2.3. Un Acercamiento al Teorema de Torricelli

### 2.3.1. *Proyectiles y chorros*

Este apartado se basa en el capítulo Desde Motu Aquarum, donde Evangelista presentó su trabajo sobre las aguas. Torricelli destacó la peculiaridad del movimiento del agua en comparación con el de otros cuerpos. Especifico que no consideró las aguas del mar o de los ríos, ya que estas suelen experimentar cambios bruscos. A continuación, explicaremos parte de su trabajo que se enfocó en experimentos particulares de la caída del agua utilizando tubos:

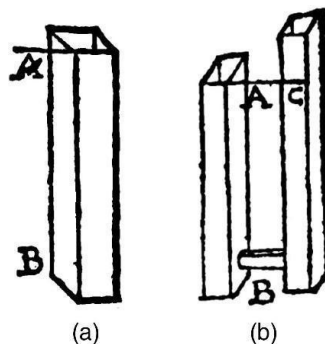


Ilustración 5. A su izquierda un tubo con dimensiones AB (a) y a su derecha tubos comunicantes con dimensiones ABC (b) Fuente: Torricelli (1644, pág. 191)

Se tiene un tubo con dimensiones AB de gran longitud que está lleno de agua hasta el nivel A, y se forma un pequeño hueco en B (ilustración 5a). El agua que sale “violentamente” a través de B tendría el mismo “ímpetu”<sup>2</sup> que tendría un cuerpo pesado o

---

<sup>2</sup> (Vélez, 2002) señala que “Todo cuerpo obra por contacto”, además, “al cesar la causa cesa el efecto” ¿Cómo explicar entonces la continuación del proyectil una vez se ha separado de la mano? Aristóteles supone que el proyectil desplaza el aire que está en frente, deja atrás una especie de vacío que es llenado inmediatamente por el aire, el cual a su vez empuja el cuerpo (antiperístasis). **En la edad Media, la solución aristotélica es reemplazada por la teoría del ímpetus: la mano le imprime al proyectil una fuerza, esta fuerza impresa se va agotando hasta que el cuerpo se detiene.** Entre los defensores de la teoría del ímpetus se encuentran, en el siglo XVII, Borelli, Benedetti y el mismo Galileo... (p. 23)

una gota de agua que cae de forma natural desde el punto A hasta el punto B. Para reforzar esta hipótesis, fíjese en la ilustración 5b, donde se muestra un tubo AB y otro BC que se encuentra vacío, estos tubos están conectados en el punto B (cerca de su base), se explica que, el agua que baja verticalmente del tubo AB tiene el ímpetu necesario para subir por el tubo BC hasta alcanzar el mismo nivel horizontal AC. Esto implica que, si el agua sale del punto B y sube por BC, tiene la capacidad de devolverse siempre desde la línea horizontal AC que se muestra en la ilustración, convirtiéndose en el caso de la ilustración 5a. En esta situación, tendría el ímpetu para caer como una gota con pesadez que cae libremente desde A hasta B. Estos dos primeros montajes muestran el análisis que realizaba Torricelli sobre la pesadez, no solo de los cuerpos, sino también de las gotas de agua en su caída (Bistafa, 2014, pág. 2).

Continuamos...



*Ilustración 6. Un tubo con dimensiones AB y un chorro que sale de B a C. Fuente: Torricelli (1644, pág. 192)*

El siguiente montaje consta del mismo tubo que se muestra en la ilustración 5a, con dimensiones AB. En B sale un chorro de agua que empieza a subir hasta C y logra llegar muy cerca de AD (véase la ilustración 6), la razón por la cual el fluido no llega a AD, según Torricelli, se atribuye a la resistencia del aire que actúa hacia abajo y también al mismo fluido, refiriéndose a que; cuando el agua alcanza el punto C y comienza su viaje de regreso al punto E, al hacerlo, ralentiza la parte que está subiendo de B a C, lo que impide que las gotas que salen de B no alcancen la marca inicial que habría logrado con el ímpetu que tenían originalmente cuando el chorro salió por primera vez. Con el propósito de tener un mejor entendimiento de lo explicado, imagine que se cierra el

chorro en B con una mano y luego se abre casi de inmediato, en este caso, el agua comienza a ascender nuevamente y, de hecho, alcanza un nivel superior al de C, esto sucede porque son las primeras gotas en salir y no tienen otras gotas más adelante (sobre sí) que frenen su máximo ímpetu antes de volver a descender.

Otra de las características que Torricelli observó del agua en este tipo de experimentos fue ver como se dispersaba en pequeñas gotitas a medida que subía el agua de B a C. Además,

reconoció que esta dispersión ocurría cuando los tubos eran más largos, impidiendo que el agua alcanzara su máxima altura, esto lo llevó a preguntarse si se podía realizar el mismo experimento con otros tipos de líquidos que permitieran una ascensión máxima y ver una caída más clara. Torricelli, utilizó el mercurio, que es un líquido más denso que el agua. Ahora analicemos lo siguiente: cuando el chorro está en caída, llegando al punto E alcanza la misma altura CB (véase la ilustración 6), Evangelista supone que el ímpetu del agua que cae de C a E está en la capacidad de subir el agua de E a C, lo que implica que el ímpetu en  $E = B$ , puesto que sería análogo al agua subiendo de B a C. También sugirió que el ímpetu de un objeto pesado cayendo de forma natural desde el punto C a E sería igual al de un objeto cayendo naturalmente de A a B, esto tiene sentido si se eliminan todos los detalles que impiden que un objeto alcance la altura AD, concluyendo que el ímpetu en B es igual a un objeto cayendo naturalmente de A a B, volviendo a su hipótesis original (experimento de la ilustración 5a).

Hasta aquí, Torricelli mantuvo la hipótesis de que *"el ímpetu de un chorro en un punto es igual al ímpetu que tendría una sola gota de líquido si pudiera caer libremente en el vacío desde el nivel de líquido por encima del orificio"* basándonos en los experimentos descritos en su libro (Božić, Davidović, Marković-Topalović, & Sliško, 2020, pág. 3). Asimismo, el autor escribió que el estudio de proyectiles de Galileo podría utilizarse en el estudio de las caídas del agua, explicó que, si se tiene un tubo que siempre está lleno de agua y se le abre un orificio, el chorro que sale seguirá una trayectoria parabólica, hizo hincapié en que, a pesar de ser un líquido, el agua se comporta como pequeñas esferas pesadas que están unidas, además, el ímpetu con el que sale inicialmente el chorro continuará con el agua que le sigue. Como se explicó en los montajes anteriores, la parábola de agua puede verse afectada por el medio, es decir, el "aire", por lo cual conlleva que las parábolas sean más o menos curvas. Este primer análisis llevó a Torricelli a estudiar el siguiente experimento que se muestra en la ilustración 6.

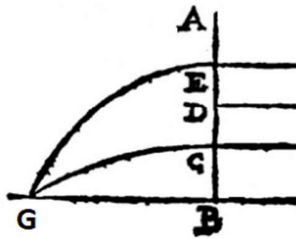


Ilustración 7. Un tubo con dimensiones AB y chorros que salen en E y C. Modificado por Talero, Á, para su mejor entendimiento. Fuente: Torricelli (1644, pág. 1994)

Se tiene un tubo AB que está siempre repleto de agua y cuenta con tres orificios en CDE. Estos orificios son circulares y tienen el mismo diámetro, además, cada uno de ellos está equipado con tres finas láminas que orientan el flujo en dirección horizontal (véase la ilustración 7). Respecto al piso se observa un eje horizontal BG, que representa el alcance horizontal de cada parábola. Ahora observe la ilustración 8, Torricelli dispone hacer un semicírculo AHB alrededor del diámetro AB,

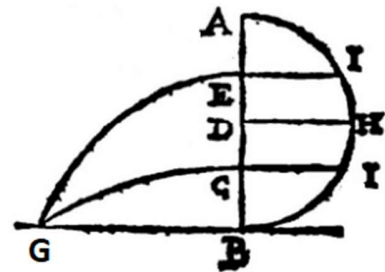


Ilustración 8. Tubo con dimensiones AB acompañado de un semicírculo AHB y chorros que salen en E y C. Modificado por Talero, Á, para un mejor entendimiento. Fuente: Torricelli (1644, pág. 194)

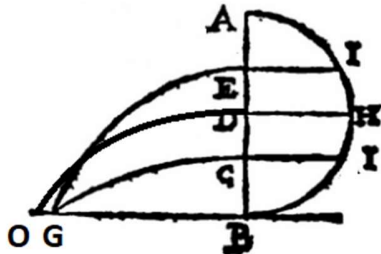


Ilustración 9. Un tubo con dimensiones AB y chorros que salen en E, D y C. Modificado por Talero, Á, para su mejor entendimiento. Fuente: Torricelli (1644, pág. 194)

esto permite identificar las siguientes relaciones geométricas que ayudan a comprender el alcance de los chorros. Fíjese en la amplitud del chorro que sale a través de E, esta será el doble de la línea EI (que es horizontal en el semicírculo), también se puede ver que la amplitud de la parábola de agua que sale de D es el doble de la línea DH (ilustración 9), y finalmente, la amplitud la parábola en C será el doble de línea CI. Esto lleva a las siguientes relaciones:  $BG=2CI$ ,  $BO=2DH$  y  $BG=2EI$ , donde el alcance del chorro central D es máximo en comparación con E y C, siendo el alcance de D igual a la altura entre el punto B y la superficie del agua en el punto A, estas relaciones se encontraron mediante observación y experimentación, basados en los trabajos de proyectiles de Galileo.

Se podría decir que en el siguiente y último montaje que analizaremos del capítulo “*Desde Motu Aquarum*”, traducido por Bistafa (2014), Torricelli ya, en esta parte, hizo la afirmación más explícita de lo que más tarde se conocería como el Teorema de Torricelli, basado en la cantidad de experimentos que ya había realizado hasta ese momento. Se tiene un tubo (suponer que siempre está lleno de agua) con dimensiones AB, con dos perforaciones por donde fluyen los chorros C y D. Se vierte agua por el tubo con una velocidad que está

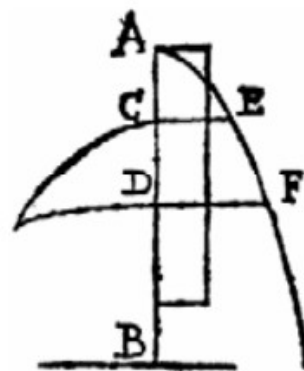


Ilustración 10. Un tubo con dimensiones AB y chorros que salen en CD. Fuente: Torricelli (1644, pág. 196)

representada por dos líneas horizontales CE y DF, en la parábola AEF, que Torricelli la describió alrededor del eje AB. El fluido se mueve de forma ordenada por CE y DF, por lo tanto, la velocidad en C con respecto a D se puede considerar como el impulso de un cuerpo con pesadez cayendo de A a C, y también sería el impulso de un cuerpo pesado que cae de A a D. Se puede hacer la relación con la cantidad de agua que sale de la abertura C a comparación de la abertura D, teniendo en cuenta que las aberturas son iguales, también se relaciona CE y DF, que son iguales. En consecuencia, Torricelli concluye que “*las aguas que fluyen desde aberturas iguales están en proporción a la raíz cuadrada de la relación de las alturas*” (Bistafa, 2014, pág. 5).

Finalizando esta sección, quisiera destacar dos consideraciones importantes. En primer lugar, se reconoce el arduo trabajo que llevó a Torricelli a formalizar su teorema. En esta sección, se presenta una parte de su trabajo, teniendo en cuenta la necesidad de sintetizar la información para este documento. Asimismo, se evidencia que el problema del chorro que emerge de un orificio en un tubo no se limita únicamente a la  $v = \sqrt{2gh}$ . Al contrario, se basa en montajes experimentales que, aunque pueden parecer sencillos, incluyen detalles significativos, como la resistencia del aire, que afecta la precisión de los experimentos.

En segundo lugar, es importante destacar el ingenio de Torricelli para encontrar relaciones entre la altura y los alcances de los chorros mediante proporciones geométricas. Esto resalta la relación física-matemática, puntualmente la relación *constituyente*, no se

puede hablar de la relación entre las alturas de los orificios y velocidades de salida sin tener en cuenta la relación de proporciones geométricas que da razón del alcance de los chorros en un eje horizontal que se proyecta en el piso.

## 2.4. Otras perspectivas para comprender el Teorema de Torricelli

Hasta este punto, hemos discutido la hidráulica del siglo XVII en relación con el Teorema de Torricelli, que sirve como base para comprender el comportamiento del agua en caída. Sin embargo, en la actualidad, este teorema se presenta utilizando los resultados de los trabajos del científico suizo Daniel Bernoulli (1700-1782), quien realizó diferentes tipos de contribuciones a la dinámica de fluidos, una de las aportaciones más importante es conocida como, “*El principio de Bernoulli*” el cual incluye “*La ecuación de Bernoulli*”, esta ecuación aborda la relación entre la rapidez de los fluidos, la presión y la altura en un segmento de tubo (Bermúdez, 1986, pág. 70). Estos trabajos han sido reinterpretados a la luz del Teorema de la Conversación de la Energía y es habitual encontrarlo en los libros de textos contemporáneos.

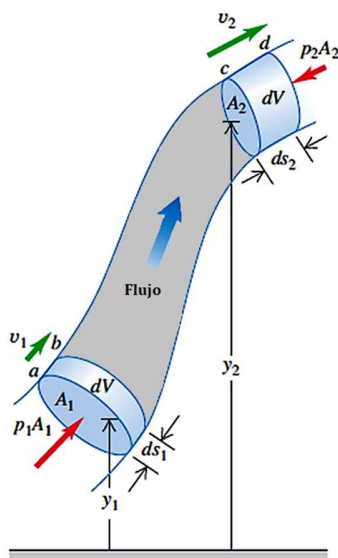


Ilustración 11. Tubo en el cual fluye un flujo de agua. Fuente: Textbook

### 2.4.1. La ecuación de Bernoulli

Bernoulli propuso lo siguiente para desarrollar una ecuación de la hidrodinámica en una sección de tubo por donde fluye un fluido en un flujo laminar en un intervalo de tiempo  $dt$ , observe la ilustración 11. Fijémonos en la porción  $a b$  de fluido de color azul que se encuentra a la izquierda, este segmento se mueve hacia la derecha a un desplazamiento  $ds_1$  (que es la longitud de esa porción de fluido) con una rapidez  $v_1$ . Observemos también la porción  $c d$  que está a la derecha y es de color azul, este segmento se mueve hacia la derecha un desplazamiento  $ds_2$  con velocidad  $v_2$ .

Igualmente, se tiene las áreas  $A_1$  y  $A_2$  que están ubicadas de forma transversal en los extremos del tubo. Es crucial tener en cuenta lo

siguiente: en el tubo no sale ni entra agua, este aspecto es fundamental resaltarlo, puesto que nos indica que la *masa* que se mueve en la porción de fluido *a b* es exactamente la misma masa que se mueve en la porción *c d*, tal situación se debe a que se trata de un fluido *incompresible*, por lo tanto, el volumen de fluido  $dV$  que se muestra en las dos porciones azules es el mismo. Para demostrar esto, tenemos que hablar de la densidad, otra de las cualidades cruciales para estudiar el comportamiento de los líquidos, en este caso la densidad del agua, entonces, tenemos que la masa de las porciones *a b* ( $m_1$ ) y *c d* ( $m_2$ ) es igual a la densidad del líquido por el volumen, como se muestra a continuación,  $m_1 = m_2 \rightarrow \rho_1 dV_1 = \rho_2 dV_2$  (1), teniendo en cuenta que la densidad en las dos porciones es exactamente la misma por ser un fluido incompresible, se puede eliminar de la expresión (1), por lo tanto, el volumen en *a b* y *c d* son iguales, se puede considerar un cambio de volumen  $dV = dV_1 = dV_2$ , esto sucede por la conservación de la masa.

De manera que, cada diferencial de volumen está representado entonces por:

$$dV = A_1 * ds_1 = A_2 * ds_2$$

Por otro lado, se tiene las fuerzas  $F_1$  y  $F_2$  que ejercen fuerza en los dos extremos del tubo. Suponemos que la fricción interna del fluido es despreciable; por consiguiente, se considera que las fuerzas que realizan trabajo sobre el fluido están relacionadas con la presión del fluido. Para entender esto mejor, analicemos lo siguiente: en los extremos *a* y *c*, existen fuerzas denotadas como  $F_1$  para *a* y  $F_2$  para *c*, estas fuerzas surgen debido al empuje del fluido sobre sí mismo, en la parte inferior *a* (a la izquierda), la fuerza de empuje del fluido es hacia arriba por su desplazamiento, mientras que la  $F_2$  corresponde al peso que ejerce la parte superior del fluido *d* sobre la parte inferior *a*, por lo tanto, la dirección de la  $F_2$  es negativa.

Ahora, es posible aplicar a estas secciones el principio de la conservación de la energía mecánica, que es igual a la suma de todos los trabajos hechos por fuerzas no conservativas<sup>3</sup>, por lo tanto, tenemos la siguiente expresión:

$$\Delta E = \sum W_{FNC} \quad (2)$$

Considerando la ecuación (2) sumamos las fuerzas  $F_1$  y  $F_2$  en relación con los desplazamientos  $ds_1$  y  $ds_2$  al hacer esto, obtenemos la siguiente suma:

$$\sum W_{FNC} = F_1 ds_1 + F_2 ds_2$$

Continuando, dado que la fuerza  $F_2$  superior es hacia abajo, su sentido es negativo, (físicamente lo que nos indica es que la fuerza en  $d$  se opone al movimiento del fluido que se mueve de  $a$  hasta  $d$ ), da como resultado:

$$\sum W_{FNC} = F_1 ds_1 - F_2 ds_2 \quad (3)$$

Sabemos que la presión se define como fuerza perpendicular por unidad de área, queda reflejada en la expresión:

$$P = \frac{F}{A} \rightarrow F = P * A \quad (4)$$

A continuación, reemplazamos la ecuación (4) en la expresión (3), y nos arroja:

$$\sum W_{FNC} = P_1 A_1 ds_1 - P_2 A_2 ds_2 \quad (5)$$

Una vez llegado a la ecuación (5), observemos lo siguiente: como mencionamos previamente, el área multiplicada por el desplazamiento es un pequeño volumen, quedando la expresión:  $\sum W_{FNC} = P_1 dV_1 - P_2 dV_2$ , pero, por lo ya explicado, sabemos que  $dV_1 = dV_2$ , que son volúmenes iguales (porque el fluido es incompresible), un volumen  $dV$ . Finalmente,

---

<sup>3</sup> Las fuerzas cuya acción en el sistema pierde energía mecánica se denominan fuerzas no conservativas. Por ejemplo, las fuerzas de rozamiento son fuerzas no conservativas (Gobierno de Canarias, 2021).

teniendo en cuenta el diferencial de volumen la expresión queda como  $\sum W_{FNC} = (P_1 - P_2) dV$  (6), que no es otra cosa que el trabajo hecho por  $F_1$  y  $F_2$ .

Sigamos. Una vez encontrado el trabajo realizado por fuerzas no conservativas, nos enfocaremos en hallar el cambio de la energía mecánica, como se indica en la expresión (2). Este enfoque se justifica debido a que el trabajo no solo afecta la energía cinética del fluido en la sección del tubo, sino que también incide en la energía potencial del sistema tubo – superficie del piso (Bermúdez, 1986).

Recordemos que la energía mecánica se compone de la suma de la energía cinética más la energía potencial. La energía potencial en este contexto se debe a las fuerzas conservativas, siendo la única fuerza conservativa presente la fuerza gravitacional, en este caso, la energía potencial que se mide como  $mgy$ , donde  $y$  representa la altura desde la superficie del suelo hasta el tubo, tomando como referencia los puntos  $y_1$  y  $y_2$  (véase la ilustración 11), para las porciones de fluido entre  $a b$  y  $c d$ . Por otro lado, las partículas de fluido que están en las porciones entre  $a b$  y  $c d$ , poseen energía cinética debido a que están en movimiento, entonces el cambio en la energía mecánica se expresa de la siguiente manera:

$$\Delta E = \Delta K + \Delta E$$

$\Delta E = (K_2 + U_2) - (K_1 + U_1)$  para los puntos  $y_1$  y  $y_2$ , reemplazando da:

$$\Delta E = \frac{1}{2}m_2v_2^2 + m_2gy_2 - \frac{1}{2}m_1v_1^2 + m_1gy_1 \quad (7)$$

Recordemos que la  $m_1 = m_2$ , puesto que los volúmenes de las dos porciones son idénticos. Ahora, observemos que la masa es igual a la densidad por el volumen:  $m_1 = m_2 = \rho * \Delta V$ . Reemplazamos el valor de la masa en la ecuación (7)

$$\Delta E = \left( \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2 - \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 \right) dV$$

Por último, el trabajo realizado por el fluido en los extremos del tubo es igual al cambio de energía mecánica del fluido:

$\Delta E = \sum W_{FNC} = \left(\frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2 - \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1\right) dV = (P_1 - P_2)dV$ , obteniendo finalmente la *ecuación de Bernoulli*:

$$P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2 = P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 \quad (8)$$

La ecuación nos indica que la presión de un fluido tiende a disminuir a medida que aumenta la velocidad y la elevación. Además, la energía del sistema permanece constante a lo largo de todo el recorrido.

Por último, queremos resaltar que la definición (8) también se puede expresar como la suma de presiones, en este caso la presión absoluta<sup>4</sup>, la presión estática y la presión dinámica, para tener mayor claridad de lo que acabo de nombrar, notemos lo siguiente:

Para comprender de dónde sale la presión estática, empezamos con la definición de la presión, que es:  $P = \frac{F}{A}$ , donde  $P$  es la presión,  $F$  es la fuerza aplicada y  $A$  es el área sobre la cual se aplica la fuerza, en este caso, la fuerza es igual a la masa por aceleración de la gravedad, dado que el agua cae debido al peso, podemos expresar esta relación de la siguiente manera:  $P = \frac{m \cdot g}{A}$  (9), además, sabemos que la densidad se define como  $\rho = \frac{m}{V}$  (10), donde el volumen es el área por la altura, sustituyendo  $V = A \cdot h$  en la ecuación (10), obtenemos:  $\rho = \frac{m}{A \cdot h}$  (11).

Ahora, despejamos la masa de la expresión (11) y la reemplazamos en la ecuación (9), quedando:  $P = \frac{\rho \cdot A \cdot h \cdot g}{A}$ . Las áreas de la ecuación se eliminan, y finalmente nos arroja la

---

<sup>4</sup> La presión absoluta es la suma de la presión atmosférica y la presión manométrica. La presión manométrica es la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica. Aunque la presión atmosférica puede variar según la ubicación geográfica, se suele tomar un valor estándar aproximado de 101325 pascales a nivel del mar (Bermúdez, 1986).

expresión:  $P = \rho gh = \rho gy$ , lo que acabamos de hacer muestra de donde surge la relación de la presión estática de la *ecuación de Bernoulli*.

Sigamos con la presión dinámica. Primero, consideremos la conservación de la energía:  $\Delta E_k = \Delta E_p \rightarrow mgh = \frac{1}{2}mv^2$  (12), donde la masa es  $m = \rho * Ah$ , al reemplazarla en la Ec. (12), obtenemos  $mgh = \frac{1}{2}\rho Ahv^2 \rightarrow mg = \frac{1}{2}\rho Av^2$ . Luego, multiplicamos en los dos lados de la balanza  $\frac{1}{A}$ , obteniendo:  $\frac{mg}{A} = \frac{1}{2}\rho v^2$ , recordemos que  $\frac{mg}{A}$  es la presión, Ec. (9), llegando a:  $P = \frac{1}{2}\rho v^2$ . Así comprendemos el origen de la presión dinámica.

Por último, estas dos presiones se suman a la presión absoluta.

Se desea aclarar al lector y se piden disculpas por ser tan quisquillosos al realizar este tipo de demostraciones. Es crucial para nosotros, destacar que, al abordar la ecuación (Ec. 8) basada en la energía, se busca ofrecer otra perspectiva para comprender que la presión también está presente, aunque expresada de manera diferente.

Ahora, ¿por qué es importante hablar de la ecuación de Bernoulli en este momento? Es esencial aclarar que nuestra intención no es profundizar más allá de la explicación dada sobre la ecuación. Sin embargo, se menciona aquí porque sirve como base para entender cómo se estudia y se comprende actualmente el Teorema de Torricelli y su definición, ya que el teorema es también un problema particular de la ecuación de Bernoulli. También nos basamos en la implementación donde varios estudiantes para dar una explicación a esta caída de chorros utilizaron esta ecuación, por lo tanto, no podemos pasar por alto este aspecto; al contrario, nos vimos en la necesidad de abordarlo para comprender cómo los estudiantes estaban pensando el teorema

#### ***2.4.2. El Teorema de Torricelli como caso particular de La Ecuación de Bernoulli***

En las clases de física, cuando se estudia el Teorema de Torricelli, se suele comprenderlo a través de La Ecuación de Bernoulli. Como se ha mencionado anteriormente, aparentemente el objetivo siempre es llegar a la expresión  $v = \sqrt{2gh}$ , tenemos que dejar claro al lector, que no consideramos que este mal, todo lo contrario, es una de las formas que

hay para entender este teorema, no obstante, pensamos que esta fórmula por sí sola puede no ser suficiente para abarcar todo el fenómeno, aun así, en esta sección, explicaremos la tematización, ya que, y como lo indicamos hace un momento, parte del análisis realizado por estudiantes de la Universidad Pedagógica Nacional<sup>5</sup> se enfoca en comprender el Teorema de Torricelli a través de La Ecuación de Bernoulli (esto se profundiza en el capítulo 4).

Comencemos...

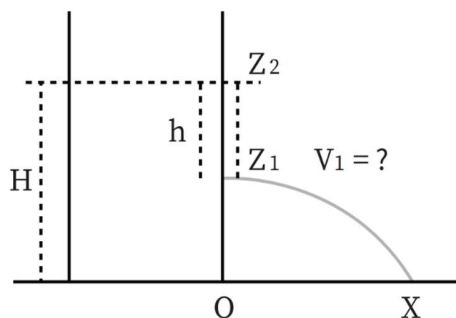


Ilustración 12. Fuente: Elaboración propia.

Miremos la ilustración 12, donde se muestra un tanque que contiene agua, en el cual sale un chorro a través de un orificio en el punto  $Z_1$ . Queremos hallar la velocidad  $v_1$  con la que el chorro sale, para esto, utilizaremos la ecuación de Bernoulli. Donde  $Z_1 = H - h$ ,  $Z_2 = H$ , y las velocidades en  $Z_2$  es:  $v_2 = 0$  y en  $Z_1$  es la que

vamos a hallar,  $v_1 = ?$

Reemplazamos:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g z_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g z_2 \quad \text{definición (8)}$$

Observemos que la presión para este problema en particular es la presión atmosférica, puesto que el tanque está abierto a la atmósfera, la  $P_1$  está en el punto  $Z_1$  y la  $P_2$  en el punto  $Z_2$ . Por lo tanto, la  $P_1 = P_2$  son iguales, lo que implica que se pueden cancelar. Nos queda la nueva expresión:

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g z_1 = \rho g z_2$$

---

<sup>5</sup> Se aclara al lector, como se había mencionado en la introducción, que una parte de la implementación fue llevada a cabo por estudiantes de la UPN, específicamente la fase tres de las actividades experimentales.

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 = \rho g z_2 - \rho g z_1 \rightarrow v_1^2 = 2g(z_2 - z_1) \text{ despejamos } v_1 \text{ y reemplazamos } Z_1 \text{ y } Z_2$$

$v_1^2 = 2g(H - (H - h)) = 2gh$ , finalmente llegamos a la ecuación que nos dice que la velocidad de un fluido que sale por el agujero de recipiente con agua está dada por:

$$v_1 = \sqrt{2gh}$$

### 2.4.2. Volvamos al problema de los tres chorros

Continuando con Bernoulli, retomaremos el problema del tubo con los tres chorros (consulte la ilustración 8) del capítulo “Desde Motu Aquarum”. En esta ocasión, nos apoyaremos del trabajo de Božić, Davidović, Marković-Topalović, & Sliško (2020) para proporcionar una breve explicación sobre cómo hallar el alcance horizontal  $\overline{GB}$  de una gota que cae desde  $\overline{AE}$ , esta vez utilizando geometría y álgebra, y teniendo en cuenta que la gota describe una trayectoria semiparabólica.

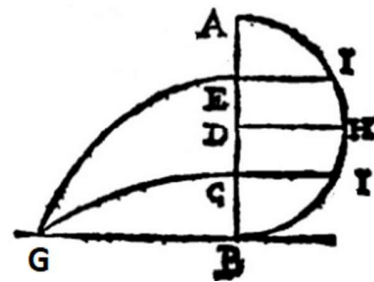


Ilustración 8. Fuente: Torricelli (1644, pág. 194)

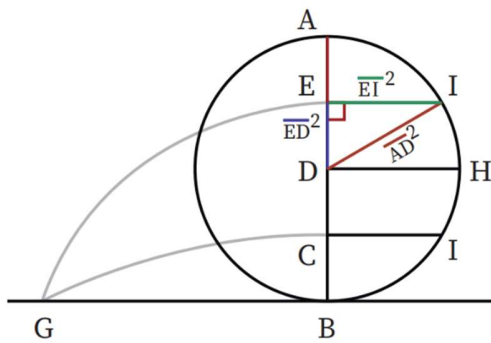


Ilustración 13. Fuente: Elaboración propia.  
 $\overline{AD}^2$ , véase la ilustración 13.

La velocidad horizontal es  $v_{x_0} = \sqrt{2g\overline{AE}}$ , donde “g” es la aceleración gravitacional, y la altura es  $\overline{AE}$ . Para este ejemplo en particular, suponemos que el líquido carece de viscosidad y la resistencia del aire es insignificante. Utilizando el teorema de Pitágoras para el triángulo  $\Delta EDI$ , se obtiene la relación matemática:  $\overline{ED}^2 + \overline{EI}^2 =$

Se despeja  $\overline{EI}^2$ , quedando:  $\overline{EI}^2 = (\overline{AD}^2 - \overline{ED}^2)$ . Observado la ilustración 8, se deduce que:  $\overline{EI} = \sqrt{(\overline{AD} - \overline{ED})(\overline{AD} + \overline{ED})}$ , esto se ilustra con más detalle en la ilustración 14 y 15, que muestra las relaciones geométricas.

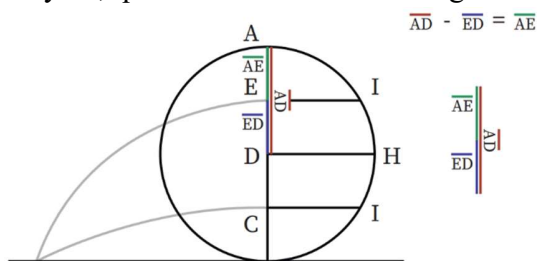


Ilustración 14. Relación geométrica de  $\overline{AD} - \overline{ED} = \overline{AE}$   
Fuente: Elaboración propia.

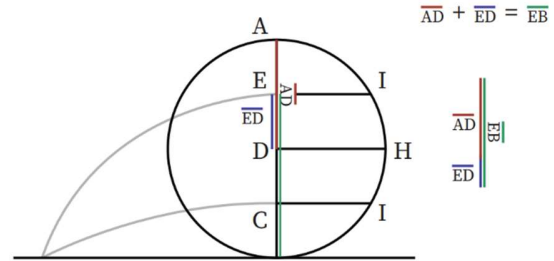


Ilustración 15. Relación geométrica de  $\overline{AD} + \overline{ED} = \overline{EB}$   
Fuente: Elaboración propia.

Conllevando a la expresión que viene a continuación:

$$\overline{EI} = \sqrt{(\overline{AD} - \overline{ED})(\overline{AD} + \overline{ED})} = \sqrt{\overline{AE} \overline{EB}} \quad (13)$$

Ahora, fíjese en lo siguiente: el movimiento en el eje horizontal GB se realiza con velocidad constante, por lo tanto, se establece la relación:  $x = v * t = \overline{GB} = v_{x_0} * t = \overline{GB} = v_{x_0} * 2\sqrt{\overline{AE} \overline{EB}}$ , donde el resultado final es  $\overline{GB} = v_{x_0} * 2 \overline{EI}$ , de esta manera, se demuestra que el alcance máximo de la gota de agua que sale de E es igual a la relación que muestra el semicírculo  $2EI=GB$ , tal como ya lo había explicado Torricelli.

Por último, el tiempo en caída libre de una gota que cae en E, es:  $y = \frac{1}{2} g * t^2$ , si se despeja  $t$  se obtiene  $t = \sqrt{\frac{2 \overline{EB}}{g}}$ .

Hemos realizado un recorrido desde la mirada de Torricelli en su obra '*Opera Geometrica*', hasta acercarnos a la ecuación de Bernoulli de Daniel Bernoulli, con la intención de mostrarle al lector que se puede explorar de diversas maneras el problema de la caída de un chorro de agua a través de uno o más orificios que está en un tubo, para explorar el comportamiento del agua en caída. Como se mencionó al principio, todos estos experimentos se basaron en problemas de la hidráulica, por ende, la mayoría de sus montajes experimentales fueron explorados utilizando el agua como líquido principal, esto nos llevó a

preguntarnos: ¿qué pasaría si exploramos este experimento utilizando otros tipos de líquidos con diferentes características o cualidades? ¿Se observaría el mismo comportamiento del chorro en caída si en vez de ser agua, fuera aceite, jabón o miel? Es evidente que no se comportaría de la misma manera, y, basados en la experiencia de las prácticas pedagógicas, es una pregunta que su respuesta en general era: “*no se comporta de la misma manera*”, pero este tipo de “obviaciones” está más basado en la experiencia, pero no el “porqué” de esos hechos observables, a raíz de esto surge la necesidad de ampliar estos experimentos, indagando con otros líquidos para mirar que sucede en el caso de la caída.

Para esto, es importante entender algunas cualidades que consideramos pertinente para la investigación. La caída del agua es interesante y accesible para su estudio debido a que es un líquido muy fluido, característica que no se presenta, por ejemplo, en la miel, que no fluye con la misma facilidad, por lo tanto, vemos pertinente entender la viscosidad como cualidad de los líquidos para así, tener más claridad de la fluidez al estudiar la caída de los líquidos, ya que la fluidez de un líquido nos da cuenta de que tan viscoso es ese líquido.

En el siguiente subcapítulo, nos adentraremos en un tema que es muy particular y relativamente nuevo: la Reología, que toca la viscosidad de los líquidos y de algunos materiales con mayor profundidad. Dado lo extenso de este tema, presentaremos únicamente lo que consideramos pertinente para esta investigación.

## **2.5. Explorando algunas características de los fluidos**

### **2.5.1. *Discutamos sobre la Reología***

La reología es el campo que estudia el flujo y la deformación de los materiales cuando se someten a fuerzas aplicadas, cambios de temperatura, tiempo y tensiones (Avendaño , Briceño, & Rojas, 2012). Es importante destacar que los materiales, incluidos los líquidos, pueden mostrar comportamientos diversos bajo estos factores. Estos cambios se conocen como *comportamiento reológico de los materiales*, caracterizar el comportamiento reológico, por ejemplo, de la miel o el aceite, permite entender cómo fluyen y cuáles son sus diferencias particulares. Para comprender estos comportamientos, especialmente en los

fluidos, es necesario saber qué es la viscosidad y cuáles fluidos son newtonianos y no newtonianos.

### 2.5.2. Aproximación a la definición de Viscosidad de Newton

Hasta este punto, hemos tenido en cuenta los fluidos ideales para explicar el comportamiento de los líquidos en caída, considerando que los fluidos son incompresibles y carecen de viscosidad. Cuando un fluido carece de viscosidad, las capas de este pueden pasar unas sobre otras, lo que implica que cada capa se movería a la misma velocidad (Cutnell & Johnson, 1999). En la sección de la ecuación de Bernoulli, esto se refleja precisamente. Sin embargo, en este apartado hablaremos de fluidos reales, en los cuales debemos tener en cuenta el concepto de viscosidad.

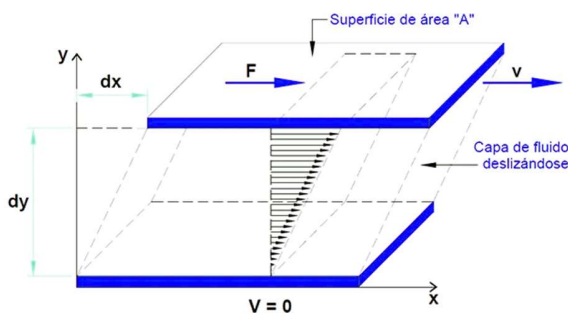


Ilustración 16. Fuente: caloryfrio.com

La viscosidad de Newton es la propiedad que tiene un fluido de mantener una viscosidad constante a una temperatura y presión dadas, en otras palabras, la tasa de cizalladura es proporcional al gradiente de velocidad. Miremos la ilustración 16, se tiene una placa superior de área  $A$ , y se mueve por una  $F$  a una  $v$ . La placa inferior

como se puede observar no tiene velocidad, lo que indica que está en reposo, pero entre las capas se encuentra un fluido deslizando. Lo que acabamos de nombrar se le llama cizalladura, su expresión formal es:  $\tau = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área}} [\text{Pa}]$ . Continuando, también está la tasa de cizalladura, cuando se aplica un esfuerzo de cizalladura al fluido que se encuentra entre las dos placas, se mantiene un gradiente lineal de velocidad entre las placas, en cual está definida  $\dot{\gamma} = \frac{dv}{dh} [\text{s}^{-1}]$ .

La relación entre el esfuerzo de cizalla y la tasa de cizalladura es la ley de Newton de viscosidad:  $\eta = \frac{\dot{\gamma}}{\tau} [\text{Pa} * \text{s}]$  (14) El agua a temperatura ambiente es un ejemplo clásico de

un fluido Newtoniano, puesto que, cuando se aplica una fuerza de cizallamiento, la tasa de flujo resultante es directamente proporcional a la fuerza aplicada.

### 2.5.3. Fluidos Newtonianos y No Newtonianos

Los fluidos Newtonianos mantienen una viscosidad constante independientemente de la fuerza aplicada. Por otro lado, los fluidos No Newtonianos exhiben una viscosidad que varía con la fuerza de cizallamiento. Ejemplos de fluidos No Newtonianos incluyen soluciones coloidales, emulsiones y suspensiones. Comparando con el agua, el alcohol se asemeja más a un fluido Newtoniano, mientras que el jabón de losa, con su capacidad para espesar bajo fuerzas de cizallamiento, muestra comportamiento No Newtoniano.

### 2.5.3. Fluidos Pseudoplásticos

Los fluidos pseudoplásticos son una categoría especial de fluidos No Newtonianos que disminuyen su viscosidad con el aumento del cizallamiento. La miel es un ejemplo destacado de un fluido pseudoplástico, cuando se aplica una fuerza de cizallamiento, las moléculas del fluido se alinean y se desplazan más fácilmente, resultando en una disminución de la viscosidad. Comparando con el aceite, que mantiene una viscosidad constante, la miel exhibe una respuesta más fluida bajo fuerzas de cizallamiento (Maldonado, 2020)

Se muestran a continuación dos gráficas: la primera a) una curva de flujo y b) curva de viscosidad para un fluido pseudoplástico.

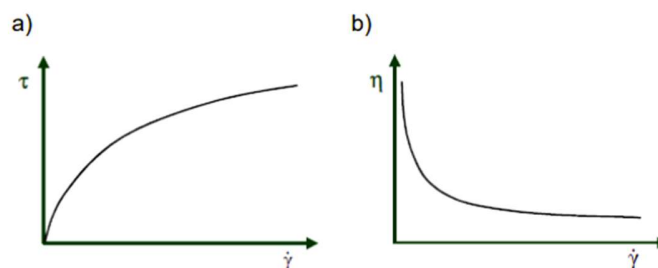


Ilustración 17. Fuente: (Maldonado, 2020)

La ecuación matemática según Ostwald De Waele, es:  $\tau = K\dot{\gamma}^n$  (15) , donde  $n$  es menor a 1 para un material pseudoplástico.

#### 2.5.4. Características Particulares de Fluidos Pseudoplásticos

Los fluidos pseudoplásticos poseen propiedades únicas. A medida que aumenta la tasa de cizalladura, la viscosidad disminuye, permitiendo un flujo más fácil. El jabón de losa, cuando se diluye con agua, puede mostrar propiedades pseudoplásticas, volviéndose más fácil de bombear o verter.

#### Ejemplos Concreto:

*Agua*: fluido Newtoniano con viscosidad constante. *Alcohol*: fluido Newtoniano. *Aceite*: comportamiento Newtoniano con viscosidad constante. *Miel*: fluido pseudoplástico, reduciendo su viscosidad con el cizallamiento. *Jabón de Losa*: puede mostrar propiedades pseudoplásticas cuando se disuelve.

#### 2.5.5. Tixotropía, dependientes del tiempo

La tixotropía describe la propiedad de algunos fluidos de volverse menos viscosos con el tiempo cuando se someten a agitación o estrés de cizallamiento y, posteriormente, de regresar a su estado original de viscosidad cuando se les permite reposar. Esta característica se observa en diversos materiales, desde pinturas o geles.

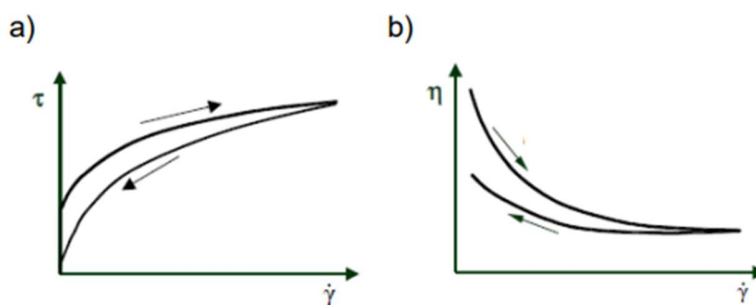


Ilustración 18. Fuente: (Maldonado, 2020)

Curva de flujo a) y b) curva de viscosidad de un fluido tixotrópico.

### 2.5.6. Ejemplos Prácticos de Tixotropía

*Jabón de Losa*: al agitar enérgicamente el jabón de losa, este tiende a volverse más delgado y fluido, facilitando su distribución sobre las superficies, después de un tiempo de reposo, recupera su viscosidad original. *Miel*: cuando se aplica cizallamiento, la miel se vuelve más líquida, permitiendo un vertido más sencillo, una vez en reposo, recupera su consistencia viscosa. Estas dos, combinan características pseudoplásticas y tixotrópicas

*Agua*: se mantiene constante ante la agitación; no muestra tixotropía. *Alcohol*: análogo al agua, no exhibe tixotropía significativa y *Aceite*: su viscosidad no se ve afectada por el tiempo o el cizallamiento.

## 2.6. Un Acercamiento desde la descripción fisicomatemática a la velocidad terminal de Ley de Stokes con relación al fenómeno de la caída de los líquidos

Para cerrar el marco teórico, examinamos una descripción de la velocidad terminal de Ley de Stokes. Dado que nuestro tema ha consistido en caracterizar el comportamiento de los líquidos en caída, consideramos relevante mencionar la Ley de G.G Stokes. Esto resulta interesante para proporcionar los primeros acercamientos a los estudiantes en el concepto de viscosidad, teniendo en cuenta también los conceptos de densidad.

A menudo, al hablar de caídas de objetos, se presenta de manera ideal sin tener en cuenta el efecto del aire. Sin embargo, el aire es un fluido que ejerce una fuerza de arrastre, especialmente cuando los objetos se mueven rápidamente. ¿Qué sucede si en lugar de aire, el objeto cae en otro fluido viscoso? La ley de Stokes describe la relación entre la fuerza de fricción y una esfera en movimiento dentro de un líquido. En nuestro caso, consideraremos una gota con forma de esfera en lugar de una esfera sólida, asumiendo que lo que cae en el líquido es otro líquido.

Se tiene la expresión  $F = 6\pi\eta r v$  (16), que es la fuerza fricción que actúa sobre una esfera en movimiento que se mueve a través de un fluido viscoso. Donde  $F$  es la fuerza de arrastre,  $\eta$  es la viscosidad del fluido,  $r$  es el radio de la partícula y  $v$  es la velocidad de la partícula en relación con el fluido. Ahora, la velocidad terminal se refiere a la velocidad

constante alcanzada por una partícula pequeña en un fluido, cuando la resistencia del fluido se equilibra con la fuerza gravitatoria que actúa sobre la partícula (gota de fluido). Este equilibrio resulta en que la partícula se mueve a una velocidad constante. Hallemos la velocidad terminal suponiendo que es una gota (suponer que es esférica) de agua que cae en aceite.

Veamos la ilustración 19, donde  $\mathbf{Mg}$ , es el peso de la gótica,  $\mathbf{W} = \mathbf{Mg}$  (17). La fuerza de fricción es  $\mathbf{F}_r$  y  $\mathbf{E}_m$ , es la fuerza de empuje o flotación.

Sigamos...

Fijémonos en las siguientes relaciones:  $\mathbf{W} = \mathbf{Mg}$ , donde  $\mathbf{M}$  es la masa de la gota, si recordamos que la definición de la densidad es  $\rho = \frac{M}{V}$ , podemos despejar la masa de la gota de agua y reemplazar el valor en la expresión (17), lo que nos arroja:

$$\mathbf{W} = \rho * V_{gota\ de\ agua} * \mathbf{g} \quad (18)$$

El volumen de una esfera es,  $\rho_{gota\ de\ agua} * \frac{4}{3} \pi * r^3$  (19), mientras que el volumen del agua desplazada por la gota es;  $\rho_{agua\ desplazada} * \frac{4}{3} \pi * r^3$  (20).

Ahora, haciendo la sumatoria de fuerzas sobre la gota de agua, obtenemos la siguiente ecuación:

$$\mathbf{W} = \mathbf{F}_r + \mathbf{E}_m \quad (21)$$

Reemplazamos la expresión (16), (18) y (20) en la ecuación (21).

$$\rho * V_{gota\ de\ agua} * \mathbf{g} = 6\pi\eta r v + \rho_{agua\ desplazada} * \frac{4}{3} \pi * r^3$$

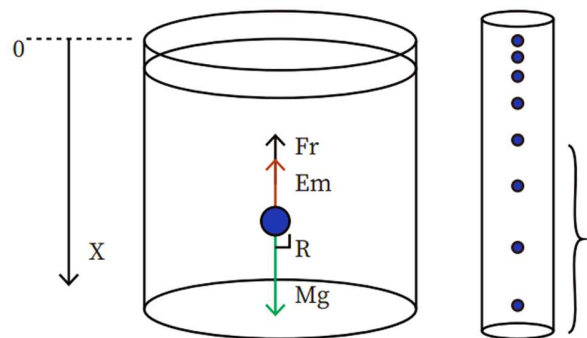


Ilustración 19. Fuente: Elaboración propia.

$$\rho_{\text{gota de agua}} * \frac{4}{3} \pi * r^3 = 6\pi\eta r v + \rho_{\text{agua desplazada}} * \frac{4}{3} \pi * r^3, \text{ despejamos}$$

$$\text{la velocidad } v, \text{ quedado finalmente: } v = \frac{2r^2(\rho_{\text{gota de agua}} - \rho_{\text{agua desplazada}}) g}{9\eta}$$

Una vez conocida la velocidad terminal, es crucial destacar que la densidad del fluido, la densidad de la gota y la viscosidad del líquido son factores significativos. Es importante no confundir estos elementos, ya que a menudo se malinterpreta que la viscosidad y las densidades están directamente relacionadas. De hecho, la viscosidad y las densidades sí influyen en la velocidad de caída de una gota en un fluido muy viscoso. En segundo lugar, aunque no se haya mencionado inicialmente, es fundamental recordar el concepto del número de Reynolds, en el contexto de la ley de Stokes, un número de Reynolds pequeño indica que las fuerzas viscosas predominan, resultando en un movimiento laminar y esférico, por otro lado, si un número de Reynolds es mayor sugiere un movimiento más complejo y turbulento (Lugo & Vargas, 2021).

Para concluir esta parte, como ya se comentó, no basta con comprender el fenómeno de la caída de los líquidos solo explorando el montaje experimental del cilindro con el agujero y utilizando únicamente el agua (aparentemente, como único líquido existente según, varias experiencias en el laboratorio de clase) para observar cómo sale el chorro en caída. Teniendo en cuenta las dos características, *densidad* y *viscosidad*, fue ineludible ampliar el tipo de experiencias y, para ello, fue necesario traer diferentes montajes experimentales que fueron la base de las actividades que se propusieron en el aula (véase el capítulo 2).

### **3. CAPÍTULO DOS: ACTIVIDADES EXPERIMENTALES PARA LA ENSEÑANZA DEL COMPORTAMIENTO DE LOS LÍQUIDOS EN SU CAÍDA**

En este capítulo, se presenta una serie de experimentos llevados a cabo en el aula, basados en los trabajos de Torricelli, Stokes y en el campo de estudio de la reología. El capítulo comienza exponiendo la actividad experimental en la propuesta, seguida de la población a la que van dirigidas y finalmente se presentan los diferentes experimentos que están inspirados en el marco teórico, junto con sus objetivos de aprendizaje y enseñanza de la propuesta. Se detalla el tipo de preguntas planteadas a los estudiantes, resaltando el tipo de experimento que se les planteó: si es demostrativo y/o si es exploratorio.

#### **3.1. La actividad experimental en la propuesta**

##### **3.1.1. *La actividad experimental***

Es importante reconocer la perspectiva que tenemos respecto a la actividad experimental en el presente trabajo de investigación.

Nosotros reconocemos el experimento como generador de teorías y conocimiento. Según Hodson (1994), la importancia del experimento ha sido ignorada en la enseñanza, y a pesar de que los profesores respaldan su uso en la escuela, no están plenamente conscientes de su eficiencia, por ello, pretendemos profundizar aún más en este tema para comprender mejor el papel que juega el trabajo experimental en la escuela. Sin embargo, los enfoques actuales, como los laboratorios con marcos conceptuales rígidos, a menudo pasan por alto la diversidad posible en propuestas experimentales.

Esto puede resultar en un proceso donde el profesor expone su perspectiva, dejando al estudiante abrumado y subestimado, por eso, es crucial evaluar la solidez de la física que se desea enseñar, con los objetivos claros y adaptarlos al nivel de comprensión actual de los estudiantes, esto implicaría gestionar estímulos adecuados que apoyen el desarrollo desde la perspectiva de los niños, identificando y diseñando experiencias que respalden sus propios intereses.

Por otro lado, y trayendo a colación la relación constitutiva física-matemática (Bonilla, 2015), consideramos importante resaltar la relación constitutiva que tiene la teoría y el experimento para nosotros. Esto es porque no consideramos que el experimento tenga el fin de ser verificatoria de las teorías, sino, por el contrario, lo pensamos también como un generador de conocimiento, puesto que al estudiar un fenómeno físico que se pueda recrear a la luz de la experimentación, puede ser bien utilizado para obtener conocimientos teóricos.

No concebimos la separación de la teoría-experimento; por ejemplo, si estamos trabajando sobre el fenómeno de la flotación y se presentan este tipo de experiencias en un laboratorio, se pueden generar preguntas que permitan encontrar relaciones constitutivas desde la percepción física-matemática, así se logra reorganizar el fenómeno a partir de la relación entre variables y dar así un sentido físico-práctico. Por lo cual, esta fue nuestra propuesta para las actividades experimentales: lograr que los niños empezaran a intuir las relaciones entre variables de la densidad y viscosidad que les permitiera darle un sentido al fenómeno de la caída de los líquidos.

### ***3.1.2. Los niños y niñas del Colegio Heladia Mejía***

Para llevar a cabo las diferentes actividades experimentales, se eligió el Colegio Heladia Mejía. En este colegio el aprendizaje está basado en proyectos (ABP), lo que ayudó a que nos abrieran el espacio para realizar la implementación. La población con la que trabajamos fue un octavo grado, compuesto por niños y niñas con edades entre 12 y 14 años. El curso tenía aproximadamente 30 alumnos.

Se destaca que los salones contaban con mesas amplias, lo que ayudó a realizar las actividades de una forma más cómoda. Desafortunadamente, no se logró contar con un buen material de laboratorio, como por ejemplo balanzas.

### ***3.1.3. Los estudiantes de la Universidad Pedagógica Nacional***

Es importante señalar al lector que para la última fase de las actividades experimentales se llevó a cabo con estudiantes de la UPN. Esto se debió a diversas situaciones que impidieron concluir la implementación en el Colegio Heladia Mejía.

Considerando las restricciones de tiempo, se tomó la decisión de finalizar la implementación en la Universidad Pedagógica Nacional, durante el *Seminario de Experimentos Importantes en la Historia de la Física*, dirigido por la profesora Marina Garzón.

Aunque parte de las motivaciones para trabajar con un grupo universitario fue basado por las dificultades ocurridas al intentar finalizar la implementación con el primer grupo (estudiantes de octavo), esto no significa que no le hayamos dado mayor relevancia a los estudiantes universitarios. Todo lo contrario, creímos que sería una oportunidad para observar y analizar las diversas formas de pensamiento que podrían surgir, ofreciendo explicaciones al caracterizar el comportamiento de la caída de líquidos. Para este grupo, se sugirió trabajar específicamente la fase III, especialmente la actividad número tres del taller, que abordaba directamente el problema del tubo con los tres orificios, utilizando exclusivamente el agua.

La población con la que trabajamos fueron estudiantes universitarios que se encontraban en los últimos semestres de la carrera de la Licenciatura en Física, aproximadamente entre 15 a 20 estudiantes.

Continuemos ...

Cabe aclarar, como ya se ha discutido, que la propuesta de aula tiene la finalidad de abordar el fenómeno de la caída de los líquidos, dejando claro la postura problemática (véase el esquema 1): para estudiar la caída de los líquidos, no basta con analizar un chorro que sale de un cilindro con un agujero, que generalmente se reduce a la ecuación  $v = \sqrt{2gh}$ . Teniendo en cuenta esto, nuestra propuesta estará compuesta por una diversidad de montajes experimentales, lo cual abre la posibilidad de estudiar la caída abordando diferentes características de los fluidos (viscosidad y densidades).

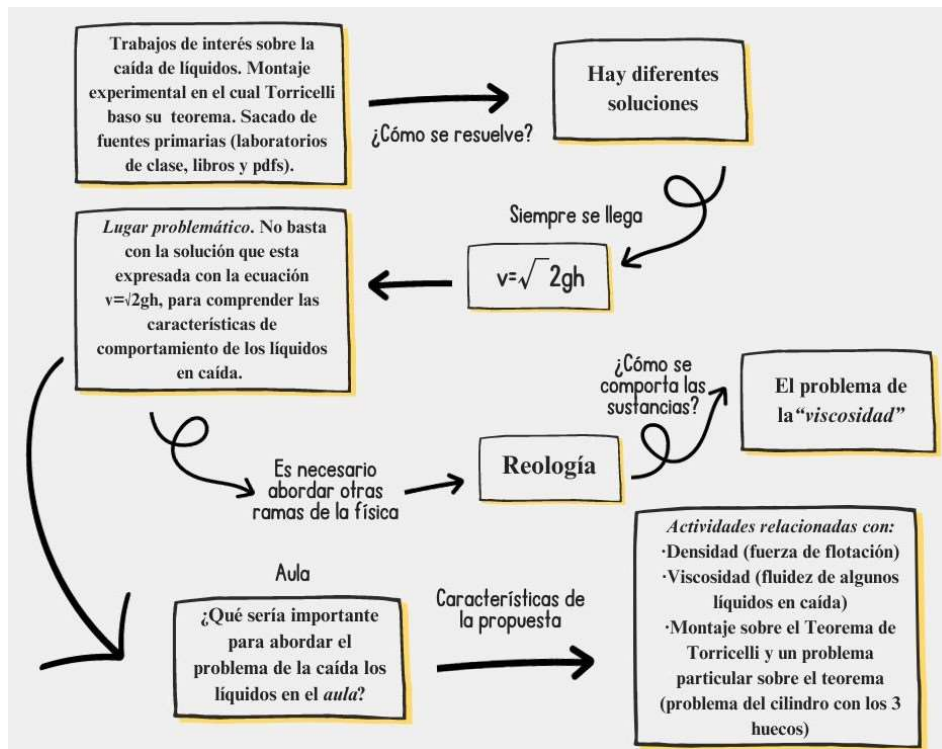


Tabla 1. Fuente: propia.

### 3.2. Experimentos

En esta subsección, se pretende mostrar tres montajes basados en el marco teórico. Estos montajes sirvieron como fundamento para llevar a cabo diversas actividades experimentales que se exhibieron en los distintos talleres. Los siguientes experimentos son de naturaleza sencilla, lo que facilitó su manipulación por parte de los estudiantes. No obstante, es importante tener en cuenta que, a pesar de su simplicidad, estos experimentos requieren atención en los detalles.

Es relevante señalar que se utilizaron dos tipos de experimentos: el exploratorio y el demostrativo. El primero brindó a los estudiantes la oportunidad de realizar los montajes y realizar modificaciones según su curiosidad. Por otro lado, el segundo, demostrativo, se diseñó para que los estudiantes observarán y pudieran responder preguntas que se les plantearan. Cabe destacar que ambos enfoques contribuyen al aprendizaje significativo de los niños.

A continuación, mostraremos cada uno de los experimentos además la intención del experimento para los estudiantes.

### 3.2.1. Ley de Stokes junto con el fenómeno de la flotación

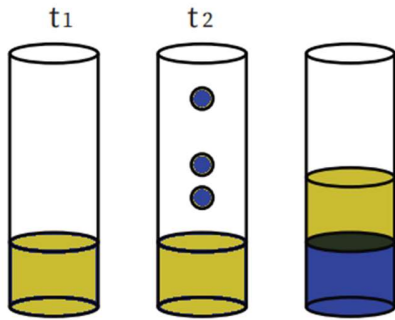


Ilustración 20. Exp. de Flotación. Fuente: Elaboración propia.

La intención fue llevar a cabo pequeños experimentos exploratorios que recrearan el fenómeno de la flotación. Para ello, se propusieron vasitos con diferentes tipos de líquidos, como el aceite y el agua. Una vez logrado este tipo de experiencia, el objetivo era que los estudiantes observarían a través de un experimento demostrativo sobre la Ley de Stokes que el fenómeno de la flotación se podía reproducir mediante pequeñas gotas de agua cayendo en un fluido

viscoso como el aceite. Esto se debía a que al final, todas esas gotas de agua se reorganizaron, dejando una capa de aceite en la parte superior y una capa de agua en el interior del vaso.

### 3.2.2. Reología, fluidez de la miel y el jabón y Problema del tubo con la fluidez de la miel, jabón y alcohol

Aquí, la intención fue utilizar los conceptos de reología para dar explicaciones más apropiadas a la caída de líquidos viscosos. Se propuso dejar caer diferentes tipos de fluidos en superficies o a través de tubos con orificios y saber cuál de esos líquidos 1) llegaba primero al suelo y 2) si podía salir el líquido del orificio de los tubos, teniendo en cuenta su rapidez. Por ejemplo, si dejamos caer miel desde diferentes alturas,

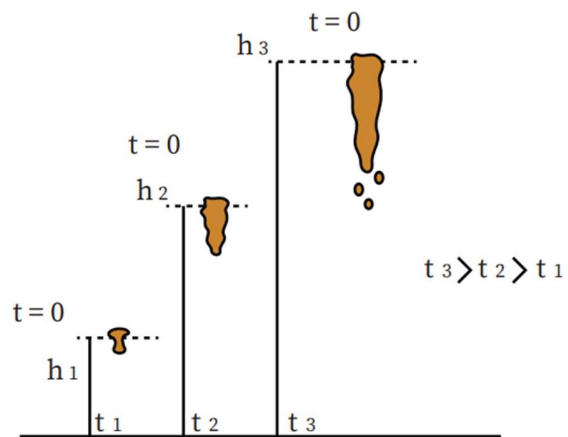


Ilustración 21. Exp. Viscosidad. Fuente: Elaboración propia.

como se muestra en la ilustración 21, se pudo observar que la miel empezaba a perder su viscosidad; a mayor altura, menor viscosidad, lo cual hacía que se adelgazara con mayor

facilidad. Esto se debía a que estaba sometida al peso y estaba relacionado con el hecho de que era un fluido pseudoplástico. Cuanto más alto estuviera, la miel cambia de velocidad de manera proporcional en intervalos de tiempo iguales, debido a la relación con la caída libre, pero en este caso, de un fluido.

### 3.2.3. *El problema de los 3 chorros*

Y, por último, se expuso el montaje de Torricelli, un tubo con tres orificios distintos. Para este tipo de experimentos, se trabajó con agua. La intención era lograr medir el alcance de los chorros en el eje horizontal  $X$  y que los estudiantes argumentaran el motivo de esos alcances, relacionándolos con el comportamiento de la caída de los líquidos. Se estudió ya esta salida de chorros en el marco teórico (véase la pág.18).

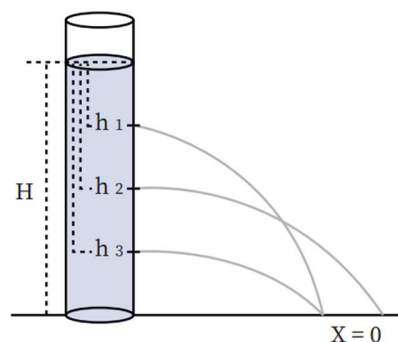


Ilustración 22. Exp. De Torricelli. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.4. *Actividades experimentales: Jugando con líquidos y otras paradojas de Torricelli*

La propuesta se ha dividido en tres fases de estudio: el *comportamiento y características de los líquidos*, el *movimiento de los líquidos*, y la *caída de los líquidos*. Cada fase tiene sus propias secciones, junto con los objetivos y actividades. En cada una de ellas, se han diseñado una variedad de experimentos que se escalonan, es decir, van de menor a mayor grado de complejidad, esto permite que los niños y niñas puedan hacer descripciones particulares de cada una de las actividades a través de las características de los fluidos, principalmente de la densidad y la viscosidad, que ayudarán a comprender y explicar cómo se comportan los líquidos cuando caen. A continuación, se mostrarán las descripciones de las tres fases.

**Fase I:** En esta etapa inicial, se pretendió que los estudiantes observarán *las características y el comportamiento de los líquidos* mediante el estudio de la variable de la

densidad. El objetivo era que describieran el comportamiento de ciertos líquidos, por lo que se abordó el fenómeno de la flotación para este fin.

**Fase II:** En la segunda fase, se abordó el *movimiento y las características de los líquidos*. El propósito era que los estudiantes relacionarán principalmente las variables de viscosidad y densidad. También explorando variables como el tiempo y la velocidad, las cuales, junto con la densidad y viscosidad, son necesarias para describir las características del comportamiento de los líquidos en su caída en una sola dimensión.

**Fase III:** La última fase consistió en *el movimiento y la caída de los líquidos, utilizando el teorema y montaje de Torricelli*. El propósito fue que los estudiantes describieran el comportamiento de los fluidos al caer de forma semiparabólica, considerando variables como la viscosidad, densidad y velocidad, y por último relacionarán el concepto de la presión respecto a la altura del recipiente donde se encuentra los líquidos a estudiar con el alcance de los chorros.

La propuesta la titulamos: “*Jugando con líquidos y otras paradojas de Torricelli*”. A continuación, presentamos las fases de desarrollo en la tabla 1. La secuencia de actividades experimentales, por razones de espacio del presente documento, está ubicada en el anexo 2.

### 3.2.5. Fases de desarrollo

#### *Jugando con líquidos y otras paradojas de Torricelli*

Fases de desarrollo	Objetivo de enseñanza	Objetivo de aprendizaje	Secciones
<p><b>Fase I</b></p> <p><i>Características de los líquidos y el fenómeno de flotación.</i></p>	<p>-Caracterizar los fluidos a través de variables, como: la densidad, la masa y el volumen</p> <p>El objetivo es que describan el fenómeno de la flotación para hacer una distinción clara con la viscosidad, además de comenzar</p>	<p>-Identificar diferentes fluidos a través de su densidad, masa y volumen.</p> <p>-Organizar torre de densidad para identificar y describir qué fluidos flotan sobre otros fluidos.</p>	<p>Reconociendo diferentes líquidos y el fenómeno de flotación.</p> <p><i>Experimentos exploratorios</i></p>

	a familiarizarse con la caída de gotas de líquidos.		
<b>Fase II</b>  <i>El movimiento y características de los líquidos</i>	-Comprender que la caída de los sólidos en diferentes líquidos se puede caracterizar a través de variables, como: la densidad del medio y su viscosidad y la densidad de los cuerpos sólidos.  -Identificar que la velocidad de los fluidos depende de variables, como: el tiempo y la viscosidad de los líquidos.	Describir las características del comportamiento que tienen los sólidos al caer en diferentes líquidos.  -Reconocer que los líquidos también pueden caer.  -Describir las características de cómo caen los líquidos.  -Pensar que hay líquidos que pueden caer en medios líquidos.	Caída de los cuerpos sólidos en diferentes medios (reconociendo los diferentes líquidos donde caen las esferas).
			Los líquidos también caen. <i>Experimentos exploratorios</i>
			Los fluidos también caen en medios fluidos. <i>Experimentos exploratorios</i>
<i>El movimiento y la caída de los líquidos, a través del teorema y el montaje de Torricelli</i>	- Describir la caída de los chorros con relación a las variables de movimiento, como: la velocidad y el <b>tiempo</b> .  - Describir la relación que tienen la viscosidad y la densidad de los líquidos con el alcance horizontal y la velocidad de los chorros al caer.  - Pensar y describir que el comportamiento y el alcance de los chorros al caer, pueden depender de otras variables como: la altura del recipiente.	-Pensar e identificar si la geometría de los recipientes afecta la caída de los chorros.  -Caracterizar el comportamiento de la caída de los chorros de diferentes líquidos.  -Identificar que la caída de los chorros puede depender de variables como la altura del recipiente donde se encuentran los líquidos, más no, de la presión.	La presión y la forma del recipiente (reconociendo si la geometría del recipiente afecta el alcance de los chorros de agua en caída) <i>Experimentos demostrativos</i>
			Describiendo el alcance de los líquidos en caída. <i>Experimentos demostrativos</i>
			La paradoja de la lata con líquidos (reconociendo el problema de los 3 chorros con diferentes líquidos). <i>Experimentos demostrativos</i>

Tabla 2. Se muestra la propuesta general que se lleva el aula para la enseñanza del fenómeno del comportamiento de los fluidos con respecto a su caída. Fuente: Elaboración propia.

### CAPÍTULO III: LA IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LA PROPUESTA DE AULA

En este apartado se presenta la implementación y análisis del primer Taller de la propuesta de aula, titulada: *Jugando con líquidos y otras paradojas de Torricelli*, cuya sistematización se ejemplifica a través de las cuatro primeras actividades correspondientes a la fase I. La fase II y III han quedado registradas en el Anexo 3, de este documento. Los resultados de los análisis merecen un apartado particular que hemos organizado a través del siguiente capítulo.

<b><i>Jugando con líquidos y otras paradojas de Torricelli</i></b>	
<b><i>Fases</i></b>	<b><i>Momentos</i></b>
Actividades Experimentales para la Enseñanza del Concepto de Densidad (“ <i>Ordenando los fluidos a través de su densidad</i> ”)	<b>Actividad 1:</b> “características de los fluidos en su fluidez”. <b>Actividad 2:</b> “flota o se hunde”. <b>Actividad 3:</b> “masa y volumen”. <b>Actividad 4:</b> “midiendo densidades, relacionando la masa y el volumen”
Actividades Experimentales para la Enseñanza del Concepto de Viscosidad (“ <i>El movimiento de los fluidos</i> ”)	<b>Actividad 1:</b> “carreritas de piedritas”. <b>Actividad 2:</b> “¿qué líquido cae primero?”. <b>Actividad 3:</b> experimento demostrativo, “reloj de líquidos”
Actividades Experimentales para la Enseñanza y Estudio de Características del Comportamiento de los Líquidos en su Caída (“ <i>El movimiento y la caída de los fluidos, a través del diseño experimental sobre el cual Torricelli desarrolla el teorema que lleva su nombre y el teorema de Torricelli</i> ”)	<b>Actividad 1:</b> “la geometría de la lata”. <b>Actividad 2:</b> “los tubitos con los huecos”. <b>Actividad 3:</b> “el problema de los tres huecos”

*Tabla 3. Elaboración propia.*

Antes de comenzar, queremos dejar claro cómo se llevó las sesiones. Primero, se formaban grupos, ya que eran aproximadamente 40 alumnos, distribuidos en grupos de 5 o 6 estudiantes. Luego, se explicaba lo que se iba a trabajar en el día, lo que implicaba la distribución del material correspondiente en las mesas (material para los experimentos y los talleres que contenían las instrucciones). Después, se iniciaban las actividades, donde ellos debían mostrar evidencia a través de pequeños escritos y, en algunos casos, dibujos. Al final, se realizaba el cierre con los diálogos que tenían lugar entre los niños y el profesor, que no era más que una guía en las clases.

#### 4.1. Actividades Experimentales para la Enseñanza del Concepto de Densidad (fase I)

**Fase I:** En esta etapa inicial, se pretendió que los estudiantes observarán *las características y el comportamiento de los líquidos* mediante el estudio de la variable de la densidad. El objetivo era que describieran el comportamiento de ciertos líquidos, por lo que se abordó *el fenómeno de la flotación* para este fin.

##### 4.1.1. Taller No 1: “Ordenando los fluidos a través de su densidad”

Para la primera actividad se contó 7 grupos, en el cual solo 6 hicieron la práctica experimental.

##### 4.1.1.1. Actividad 1: “características de los fluidos en su fluidez”

**Preguntas:** ¿Cuál sería el orden de mayor a menor fluidez de los líquidos?, nombre las posibles explicaciones para que haya mayor o menor fluidez.

##### *Ordene los líquidos de mayor a menor fluidez*

La finalidad de esta primera actividad fue observar las ideas preexistentes que tienen los estudiantes acerca de la fluidez de los líquidos, así como identificar qué tipo de características podrían sugerir para explicar esta fluidez. Se buscó reconocer las ideas iniciales de los estudiantes para comenzar el proceso de organización del conocimiento sobre el fenómeno de la caída de los líquidos a partir de estas ideas. Se muestran los resultados de la primera parte de la actividad, donde se les pidió a los estudiantes ordenar los fluidos de mayor a menor fluidez, según lo que ellos observarán, *entendiendo la fluidez como la capacidad que tienen los fluidos de moverse con mayor o menor facilidad.*

<b>Grupos</b>	<b>Orden de los líquidos de mayor a menor</b>
1	Agua, Alcohol, Aceite y Miel
2, 4 y 7	Alcohol, Agua, Aceite y Miel
3 y 6	Agua, Aceite, Jabón y Miel

Tabla 4. Elaboración propia.

A continuación, se presentan las características y explicaciones que proporcionaron los grupos respecto al orden de los líquidos. Para esto, al igual que en la tabla anterior, se agruparán según las similitudes de sus respuestas.

Líquido	Grupos	Explicación/Características	Análisis de las explicaciones que hacen los estudiantes para caracterizar el comportamiento de los líquidos
Alcohol	1	“Tiene <b>menor fluidez</b> que el agua, no es mucha la diferencia”	Los estudiantes de este grupo consideraron que el alcohol es menos fluido que el agua, pero no queda claro por qué llegaron a esta conclusión, ya que no se evidencia que hayan escrito alguna cualidad o característica que les permitiera pensar esto. Incluso, no hay una explicación del por qué consideraron que es menos fluido que el agua y cómo lograron hacer la comparación para determinar por qué es menor y no al contrario.
	3, 4 y 7	<p>“El alcohol es el que tiene más <b>densidad</b> del fluido, <b>corre más rápido</b> y el alcohol <b>no se adelgaza al hacerlo</b>”</p> <p>“El alcohol <b>fluye un poco más rápido</b> que el agua, ya que el alcohol se <b>evapora</b> más rápido”</p> <p>“Por los componentes que trae y su <b>densidad</b>. Ya que el agua tiene más <b>masa</b> que <b>volumen</b> de alcohol”</p>	<p>Estos dos grupos tienen similitudes que considero pertinentes para agruparlos. En primer lugar, uno de los grupos mencionó la densidad como una cualidad que puede explicar la fluidez del alcohol y lo relaciono con la rapidez con la que este cae en el vaso al ser vertido, observando una mayor rapidez. También observaron si el líquido se vuelve más delgado al caer o si, por el contrario, mantiene su delgadez (su forma inicial).</p> <p>Por otro lado, el otro grupo coincidió en que el alcohol fluye más rápido que todos los demás líquidos. Este grupo sugirió que la característica por la cual sucede esto es la rapidez en el cambio de fase temperatura.</p> <p>Cuando se les preguntó cómo podían observar que el alcohol se evaporaba más rápido que otros líquidos, mencionaron que basaban su afirmación en la experiencia realizada en casa con sus madres, ya que habían calentado alcohol con el fin de limpiar algunos objetos de su casa.</p> <p>Uno de los grupos también mencionó la densidad como una característica por la cual el alcohol fluye con mayor fluidez que los otros líquidos, además de hacer referencia a la masa como otra característica relevante. No quedó claro lo que querían expresar al hablar de la relación entre el agua y el alcohol, supongo que se refería a que es más fluido que el agua, pero se notó un intento por establecer una relación entre el volumen y la masa.</p>
	1, 2, 4 y 7	<p>“Tiene más <b>densidad</b> que el alcohol y el agua porque es mucho más <b>espesa</b> que lo anteriores”</p> <p>“El aceite es un poco más <b>espeso</b>, tan espeso como el alcohol y el aceite cuando <b>baja fluye más rápido</b> de lo normal”</p>	<p>Acá se evidenció que los estudiantes pensaron en dos características importantes para dar respuesta a la fluidez del aceite, nombrando así la densidad y que tan espeso es el líquido. Estas dos cualidades les permitieron a algunos estudiantes argumentar por qué fluye más o menos rápido que el agua o el alcohol.</p> <p>Se empezó a mirar una relación entre la densidad y que tan espeso es un líquido con la rapidez de estos al caer en un vaso, en este caso para ellos, el aceite fluye más rápido cuando cae en el vaso que cuando lo agitan en el vaso.</p> <p>Otros estudiantes determinaron al sentir con sus dedos que líquidos como el aceite y el alcohol son igualmente espesos, por lo cual comentaron que son casi iguales estos líquidos. Además, atribuyendo así una mayor sensación de deslizamiento en comparación con otros líquidos</p>

<i>Aceite</i>		<p>“El aceite fluye o cae con una <b>densidad media</b>, ya que es <b>resbalosa</b>”</p> <p>“Entre <b>más denso</b>, menos fluidez”</p>	<p><i>Se nota una relación entre la densidad y cuánto espeso es un líquido, una relación directamente proporcional.</i></p> <p><i>También una relación inversamente proporcional entre la densidad y la fluidez.</i></p>
	3	<p>“Es algo que nos ayuda a cocinar, entonces <b>es un poco espeso</b>”</p> <p>6 s, 18 ms</p>	<p>Este grupo resaltó el espesor como una característica, pero no dio más profundidad. Lo que sí considero, es que es un poco espeso. Cuando se les preguntó a qué se referían con que un líquido es poco espeso, mencionaron que se referían a la sensación al tocar los líquidos en comparación con otros, describiéndola como más gelatinosa o pegajosa.</p> <p>Otra de los aspectos que fue interesante de analizar en este grupo, es que fue el único que utilizó el cronómetro como instrumento de medida. Cronometraron la caída de cada líquido sobre los vasos para determinar cuáles fluidos caían más rápido que otros, esto permitió establecer una relación directa entre el tiempo y la fluidez de estos.</p>
	6	<p>“El aceite es muy <b>resbaloso</b> y se <b>dificultad al desplazarse</b>”</p>	<p>Acá se observa que los estudiantes identificaron dos características importantes. Por un lado, el hecho de que el líquido fuera resbaladizo les hizo intuir una relación con su movimiento, si se desplaza con mayor facilidad o no. <i>Se puede notar cómo empezaron a establecer una conexión entre el movimiento de un líquido y sus características particulares. También comentaron que cuando se refieren a un líquido resbaladizo hace hincapié en que es espeso.</i></p>
<i>Agua</i>	2 y 4	<p>“El agua es el segundo líquido con mayor <b>densidad</b> de fluido y cuando <b>baja se vuelve delgado</b>”</p> <p>“Es más <b>denso</b> que el Alcohol comparando la caída de los dos”</p>	<p>Los estudiantes coincidieron al considerar que el agua es el segundo líquido más fluido. Fundamentaron sus argumentos mediante comparaciones con otros líquidos, particularmente el alcohol. Resultó interesante porque el agua y el alcohol son líquidos que se asemejan mucho entre sí; sin embargo, a pesar de esta similitud, los estudiantes mantuvieron que podían distinguir entre ambos.</p> <p><i>Otro de los argumentos se centró en la densidad, sugiriendo que, a mayor densidad, menor fluidez presenta el líquido. Finalmente, observaron una característica particular en el agua al caer: a medida que descendía, se volvía más delgada.</i></p>
	1 y 6	<p>“Se puede fluir con facilidad porque es más <b>liviana</b>”</p> <p>“El agua fluye más ligero porque es muy líquido”</p>	<p>El grupo consideró que la fluidez depende de la livianes de los líquidos, dando a entender que liviano como algo con poco peso y fácil de mover. En el caso del agua, para ellos, este líquido podía adaptarse al vaso de manera más sencilla.</p> <p>La razón no solo se basaba en la livianes, sino que también la relacionaron directamente con la fluidez, concluyeron que la miel tomaría mucho tiempo para adoptar la forma de un vaso.</p>
	3	<p>“No está tan procesada y no tiene nada, es natural”</p> <p>3 s, 63ms</p>	<p>Este grupo midió el tiempo de caída del agua y encontró dos cosas: primero, que el agua es la que cae más rápido de todos los líquidos, por lo cual consideraron que es el más fluido. Y, por otro lado, aparentemente, el hecho de que no estuviera procesada (haciendo alusión a que no se le incluyeron más ingredientes) también determinó su fluidez.</p> <p>Los niños consideraban que los otros líquidos no eran tan 'puros', ya que, para ellos, la miel o el jabón podrían ser combinaciones entre líquidos que les dan esa textura espesa, mientras que el agua es natural al no tener mezclas de otros líquidos.</p>

	7	“El agua tiene <b>más oxígeno</b> que el aceite, porque es más fluido”	Los chicos consideraron que el oxígeno es una característica de los fluidos que determina su fluidez, estableciendo una relación de proporcionalidad: a mayor cantidad de oxígeno, mayor fluidez; a menor cantidad de oxígeno, menor fluidez.
<b>Jabón</b>	3 y 6	“Es más <b>sólido o denso</b> , por eso más lento” 14 s, 51 ms  “El jabón tiene <b>más densidad</b> que el agua y el aceite”	Uno de los grupos, al cronometrar la caída de la miel, la clasificó en tercer lugar. Para ellos, esto se explica por la densidad del líquido, así como por el concepto de solidez en los líquidos. Consideran que existen líquidos que no son tan líquidos, incluso algunos que pueden comportarse como ligeramente sólidos. En su opinión, un líquido altamente fluido, como el agua o el alcohol, es significativamente más líquido en comparación con otros.  <i>También observaron la relación entre la densidad y la fluidez: a mayor densidad, menor fluidez y, por lo tanto, menor rapidez en el flujo.</i>
<b>Miel</b>	1, 2 y 6	“Es mucho más <b>espesa</b> que todos los anteriores”  “La miel es muy <b>espeso</b> y se dificulta al desplazarse”  “La miel es super <b>espesa</b> pero el agua, alcohol, aceite son perfectamente líquidos y la miel cuando la echamos se va adelgazando cada vez que baja”	Los tres grupos consideraron que la miel es el líquido menos fluido de todos, expresándolo en su lenguaje como más 'espeso' que los demás. Cuando se les preguntó qué significaba 'espeso' para ellos, hubo una variedad de respuestas. Algunos argumentaron que se refería a que la sensación de los dedos no era la misma que con el agua, el alcohol o incluso el aceite. Otro argumento sostenía que la miel era más sólida que líquida, retomando en parte una argumentación previa que planteaba la existencia de líquidos menos líquidos debido a que estos líquidos estaban mezclados con otros líquidos, no era tan “pura”, por lo cual son espesos.  También notaron que a medida que la miel caía, se volvía más delgada, relacionando la caída con la delgadez de este. <i>Por último, observaron una relación entre la fluidez y la rapidez: la miel es más lenta, por lo tanto, menos fluida, pero también es más densa.</i>
	3, 4 y 7	“Es super <b>densa</b> ” 29 s, 4ms “Porque se <b>pega</b> al objeto, ya que es más <b>densa o pesada</b> ”  “Es muchísimo más <b>denso</b> que el aceite”	Los estudiantes de este grupo coincidieron en que la densidad es la razón por la cual la miel no es tan fluida. Cuando se les preguntó qué significaba densidad, algunos no pudieron responder, pero otros la relacionaron con el 'peso', mencionando que es más pesada y por eso cae más lentamente. Resulta interesante porque, más adelante, al hablar de sólidos, ellos mencionaron que los objetos más pesados caen más rápido, pero en este caso, el hecho de que la miel sea más pesada hace todo lo contrario, es decir, que los líquidos caigan más lentamente.  También concluyeron que debido a que la miel es pegajosa, no fluye con facilidad, lo que impide que se desprenda rápidamente para fluir con mayor rapidez.

Tabla 5. Elaboración propia.

#### 4.1.1.2. Actividad 2: “flota o se hunde”

La segunda actividad tuvo como objetivo introducir a los estudiantes al fenómeno de la flotación, centrándose específicamente en líquidos en lugar de sólidos. Se emplearon aceite, agua, aire y miel como principales fluidos, junto con pequeños vasos. Se le presentaron dos preguntas a cada grupo; la intención era que, antes de llevar a cabo el experimento, intentaran responder a las preguntas. Después, observarán lo que sucedía para verificar si concordaba con lo que habían propuesto previamente o, por el contrario, no. Se buscó reconocer los argumentos y las ideas preexistentes de los estudiantes sobre la flotación.



Ilustración 23. Evidencia de las actividades hecha por los estudiantes. Fuente: propia.

**Preguntas:** ¿Qué pasaría si vierte el agua y aceite en un mismo vaso? (grupo 1), ¿Qué pasaría si vierte el agua y miel en un mismo vaso? (grupo 2), ¿Qué pasaría si vierte el agua y jabón en un mismo vaso? (grupo 3), ¿Qué pasaría si vierte aceite y miel en un mismo vaso? (grupo 4), ¿Qué pasaría si vierte aceite y jabón en un mismo vaso? (grupo 6 y 7) y ¿Qué pasa si se vierte jabón de losa y miel en un mismo vaso? (pregunta general para todos los grupos)

A continuación, se presentan los resultados de la segunda parte de la actividad. Para ello, al igual que en las tablas anteriores, se agruparon según las similitudes de sus respuestas.

¿Qué pasaría si vierte el agua y aceite en un mismo vaso?	<b>Grupo 1:</b> “El agua queda abajo y el aceite arriba, no se combina”, “Se vuelve agudo y cambia de color y se pone <b>menos denso</b> ”
---	--

¿Qué pasaría si vierte el agua y miel en un mismo vaso?	<b>Grupo 2:</b> “ <b>Hipótesis:</b> se vuelve más líquido y se mezclan muy bien, se vuelve menos espeso. Además, la miel se va a esparcir por todos los líquidos”, <b>Experiencia:</b> corregimos lo que habíamos escrito, el agua ya no se puede notar mucho, pero aun así se ve que queda arriba de la miel, esto sucede por la <b>diferencia de peso</b> , también se vuelve más fluido la miel por el agua”
¿Qué pasaría si vierte el agua y jabón en un mismo vaso?	<b>Grupo 3:</b> “ <b>Hipótesis:</b> el jabón se vuelve espuma, también la mezcla entre el agua y el jabón es heterogénea, porque el agua queda encima del jabón”
¿Qué pasaría si vierte aceite y miel en un mismo vaso?	<b>Grupo 4:</b> “ <b>Hipótesis:</b> el aceite queda arriba de la miel”, <b>Experiencia:</b> si paso lo que habíamos escrito. Esto sucede porque es más pesada o densa la miel.
¿Qué pasaría si vierte aceite y jabón en un mismo vaso?	<b>Grupo 6:</b> “ <b>Hipótesis:</b> el aceite sube y el jabón queda abajo, esto es, porque en cierta forma el jabón es más pesado o denso y espeso que el aceite”, <i>El grupo corroboró con una foto, pero se abstuvo de argumentar.</i> <b>Grupo 7:</b> “ <b>Hipótesis:</b> el aceite quedaría flotando por tener menos peso”
¿Qué pasa si se vierte jabón de losa y miel en un mismo vaso?	<p><b>Grupo 1:</b> “No se combina”</p> <p><b>Grupo 2:</b> “<b>Hipótesis:</b> pensamos que se vuelve más espesa, también que su densidad es más lenta y por último se puede reconocer los líquidos cuando se echa en el vaso” <b>Experiencia:</b> la miel queda abajo del jabón, siendo muy espeso, mientras que el agua sigue igual y su densidad no tiene ningún cambio.</p> <p><b>Grupo 3:</b> “<b>Hipótesis:</b> el jabón flotará y la miel estará abajo”</p> <p><b>Grupo 4:</b> “<b>Hipótesis:</b> el jabón queda arriba de la miel”, <b>Experiencia:</b> si paso lo que habíamos escrito. Esto sucede porque es más pesada o densa la miel.</p> <p><b>Grupo 6:</b> “<b>Hipótesis:</b> el jabón cuando se vierte en la miel queda arriba, porque la miel es muy espesa compacta y no deja que el jabón baje si no queda de una vez arriba”, <i>El grupo corroboró con una foto, pero se abstuvo de argumentar.</i></p> <p>También se les reconoce que hicieron una torre entre el aceite, jabón de losa y miel. Donde comenta que el aceite queda arriba, pero no dicen nada más.</p> <p><b>Grupo 7:</b> “<b>Hipótesis:</b> al echar el jabón y después la miel se hundiría ya que es más densa que el jabón y no se mezclarán”, <i>El grupo corroboró con un dibujo, pero se abstuvo de argumentar.</i></p>

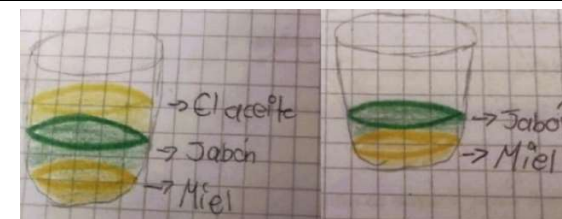


Ilustración 24. Dibujo hecho por los estudiantes. Fuente: propia.

Tabla 6. Elaboración propia.

### 4.1.1.3. Actividad 3: “masa y volumen”

En la última actividad de la fase I, el objetivo principal fue iniciar la discusión sobre la masa y el volumen a través de diferentes tipos de experiencias. En primer lugar, se abordó con objetos sólidos; luego, se transfirió el conocimiento adquirido para hablar de la masa y el volumen, pero esta vez aplicado a fluidos. Se van a mostrar los resultados en dos momentos: en el primero,

se presenta una serie de discusiones que ocurrieron durante la sesión, y en el segundo, se exhibe la tabla correspondiente a las respuestas dadas en el taller.

**Preguntas:** ¿Cuál de los siguientes objetos que están quietos son más fáciles de mover?, ¿por qué? Un lápiz, una silla del salón de clases, el cuaderno de física y un balón de fútbol. ¿Qué tiene más masa 1 kg de madera o 1kg de acero? ¿Hay alguna diferencia entre la masa y el peso? Haga de cuenta que tiene una caja, en el cual se muestra dentro de ella un balón de fútbol, como muestra la ilustración, ahora tiene la misma caja, pero ahora hay una bola de tenis. ¿Cuál de los dos objetos ocupa mayor espacio dentro de la caja?, ¿por qué?

En el primer momento, se abordaron las discusiones que tuvieron lugar durante la sesión. Es importante aclarar al lector que, en estas sesiones, no todos los grupos participaron activamente, principalmente debido a la timidez de algunos niños.

### **Sesión uno:**

El grupo uno relacionó el volumen de un objeto como algo que no está constituido por la masa. Además, consideraron que el peso es realmente esa materia en el cual está lleno los objetos. El grupo 3: creyó que, a pesar de que haya dos cuerpos que tengan 1 kg, no consideraron que pesen lo mismo; por el contrario, creían que la diferencia estaba relacionada con el material. Como ya estábamos en la discusión sobre la masa, y era muy repetitivo la palabra *pesa* o *peso*, comenzamos a hablar del peso. Se les preguntó: “¿La masa es lo mismo que el peso?” Para mi sorpresa, hubo dos estudiantes que dijeron que no, y lo relacionaron con la gravedad. A partir de esto, se discutió sobre: “¿Qué es la gravedad?” Coincidieron en que la gravedad es lo que nos mantiene pegados al suelo terrestre.

Con base a esto, los niños empezaron a debatir si había o no gravedad en otros planetas. Al final de la clase, afirmaron que sí la hay. Se les planteó una pregunta que se consideró pertinente: ¿Hay gravedad en otros planetas y es igual a la de la Tierra? Los grupos 1, 2 y 3, basándose en el video del alunizaje y observando cómo el hombre camina, notaron que pareciera que salta y no camina de manera igual o semejante a la Tierra, concluyeron que la gravedad no es la misma en todos los planetas. Se les asignó como tarea investigar la gravedad de la Tierra, la Luna, Marte y un planeta de su elección. El objetivo de esto es fomentar el debate para la comprensión y organización del concepto de masa y peso, así como explorar sus diferencias.

También se les hicieron preguntas diversas a los grupos. Por ejemplo, cuando se les preguntó si *¿Los aviones tienen o no gravedad?*, el grupo 1 respondió que no. Después de la discusión, concluyeron en conjunto que sí hay gravedad, pero en menor cantidad, y es por eso por lo que los aviones pueden volar.

Mientras tanto, el grupo dos notó que no necesariamente existe una relación entre el peso de cada planeta y la distancia al Sol. En cambio, identificaron una conexión entre el tamaño de los planetas y la gravedad, observando que a medida que un planeta es más grande, su gravedad aumenta. En términos generales, los grupos concluyeron que el peso y la masa son conceptos distintos, también reconocieron que la masa en otros planetas no variaría, pero sí cambiaría la gravedad. Además, comenzaron a distinguir entre volumen y masa, señalando que tanto los fluidos como los sólidos tienen masa y volumen, aunque su constitución difiere, ya que los fluidos no son rígidos. Este acercamiento al concepto de densidad también se inició, teniendo en cuenta la diferencia en el peso.

### **Sesión dos:**

El grupo uno volvió a experimentar confusiones respecto a la relación entre la masa y el volumen. Tenían dificultades para comprender si ambas podían estar relacionadas y, en caso de estarlo según ellos, les resultó difícil interiorizar el concepto de densidad.

A raíz de esta confusión, se les proporcionó un ejemplo con dos pelotas del mismo tamaño, pero de materiales diferentes, cada una con una masa distinta. Se les preguntó: *¿cuál*

*de las dos tiene mayor densidad?* El grupo dos afirmó que la pelota con mayor masa tiene mayor densidad, y los demás grupos estuvieron de acuerdo, llegando todos a la conclusión de que, a mayor masa, mayor densidad.

Ahora, planteé otra pregunta: *se tienen dos pelotas, una de mayor tamaño y otra de menor tamaño, pero ambas tienen la misma masa. ¿Cuál de las dos pelotas tiene mayor densidad?* Los grupos uno y tres, sin dudar, afirmaron que la pelota pequeña tenía mayor densidad, ya que habían investigado la relación matemática de la densidad. En cambio, los grupos dos y cuatro se inclinaron por la idea de que la relación era directa, es decir, que la pelota más grande tendría mayor densidad. Para clarificar, llevamos a cabo un pequeño experimento: mostramos dos pelotas, una grande y otra pequeña, y las pesamos, ambas tenían una masa de 3 kg. Después de este ejemplo, se les volvió a preguntar qué habían comprendido y definido como volumen y masa. Los grupos volvieron a entrar en discusión, expresando que el volumen es el espacio que todos los cuerpos ocupan. Con esta idea en mente, comenzamos nuevamente a reconstruir el concepto de densidad.

Empezamos a hablar sobre la densidad, y los grupos uno y tres sostuvieron que la relación no era directa. Comenzaron a relacionarlo con lo que habían investigado en casa y con los experimentos que tenían a la vista, entonces, se dieron cuenta de que sí existía una relación directa entre la masa y la densidad; a mayor masa, mayor densidad. Sin embargo, notaron que cuando hay más volumen, la densidad no aumenta necesariamente. Únicamente el grupo cuatro, no logró concretar los conceptos, ya que estaban muy confundidos. Seguidamente, se presentan los resultados de la tercera parte de la actividad. En este sentido, de manera similar a las tablas anteriores, se agruparon según las similitudes de las respuestas.

<i>Preguntas</i>	<i>Explicación/Características</i>
¿Cuál de los siguientes objetos que están quietos son más fáciles de mover?, ¿por qué? Un lápiz, una silla del salón de clases, el cuaderno de física y un balón de fútbol.	<b>Grupo 1:</b> “el lápiz no tiene mucho volumen ni masa, el lápiz no tiene la misma <b>gravedad</b> que un balón, y la silla es más fácil de frenar ya que es más pesada”. <b>Grupo 2 y 3:</b> “sin movimiento es más fácil mover el lápiz porque tiene menos peso. El balón porque en movimiento es más ágil. La gravedad cambia por la masa y la fuerza, que es el peso, es una relación de la masa por la gravedad”
¿Qué tiene más masa 1 kg de madera o 1 kg de acero?	<b>Grupo 1:</b> “los dos objetos no tienen ninguna diferencia en peso ya que tiene los mismo Kilogramos”. <b>Grupo 2:</b> “son iguales porque tienen la misma masa y peso”. <b>Grupo 3:</b> “pensamos que es más pesado el acero que la madera, porque la madera es mucho más liviana que el acero”
¿Hay alguna diferencia entre la masa y el peso?	<b>Grupo 1:</b> “Si tiene diferencia ya que la masa se conforma con el volumen, y la masa se pesa, la densidad aumenta de acuerdo con el tamaño del cuerpo”. <b>Grupo 2:</b> “la masa es la materia que tiene el cuerpo. El peso es el relleno del objeto, ósea lo que lleva adentro”. <b>Grupo 3:</b> “la masa es la que está dentro de los objetos y el peso sería lo que está dentro de los objetos, es como el material. Entre más grande el planeta, aumenta la gravedad”
¿Cuál de los dos objetos ocupa mayor espacio dentro de la caja?, ¿por qué?	<b>Grupo 1:</b> “el balón de fútbol ocupa más espacio en la caja, porque el balón de fútbol tiene más volumen”. <b>Grupo 2:</b> “el balón de fútbol porque tiene más volumen”. <b>Grupo 3:</b> “el balón, porque tiene más volumen que la bola de tenis”. <b>Grupo 4:</b> “el balón ocupa un mayor volumen, por lo tanto, requiere más espacio en la caja”

Tabla 7. Elaboración propia.

#### 4.1.1.4. Actividad 4: “midiendo densidades, relacionando la masa y el volumen”

En la última actividad, el objetivo principal fue poner a prueba los conocimientos obtenidos en actividades experimentales y discusiones previas. Algunos grupos investigaron por su cuenta la densidad y el fenómeno de la flotación, por lo que se les propuso una actividad cuantitativa: medir la densidad de algunos fluidos (miel, agua, aceite, etc..) mediante la relación  $D = \frac{m}{v}$ . Se emplearon jeringas (cada jeringa sacaba una cantidad de líquido) para discutir sobre el volumen y una pesa. Finalmente, se les pidió repetir varias veces el experimento y se muestran los resultados en la Tabla 6. Otra actividad consistió en construir una torre de densidades con las dos últimas preguntas. También se presentan las discusiones que siguieron en esta sesión (sesión 3).

**Preguntas:** Ordene los fluidos de mayor a menor densidad. Con base a la experiencia del *procedimiento 1: “flota o se hunde”*, los líquidos que flotan ¿tienen más o menos densidad? ¿por qué?

#### Sesión tres:

Comenzamos a relacionar el volumen con los líquidos. Para ello, abordamos algunas de las cualidades que observamos en los fluidos, diferentes a las de los cuerpos rígidos (como el hecho de que los líquidos pueden tomar la forma del recipiente donde

se les ponga, mientras que no es fácil cambiar la forma de una piedra, ya que esta se puede romper). Les pregunté si los fluidos, como los gases, el agua, el aceite y el jabón, podían tener volumen y masa. La respuesta afirmativa provino de todos los grupos.

El primer grupo afirmó que el agua puede expandir su volumen, lo que lo distingue de un cuerpo rígido. En contraste, el segundo grupo sugirió que esta propiedad está relacionada con su fluidez. El tercer grupo señaló la facilidad para verter líquidos en distintos recipientes, evidenciando su capacidad para adoptar la forma del recipiente. Sin embargo, observaron que esta característica es más evidente en ciertos líquidos, como el agua y el alcohol, cuyas diferencias son complejas de precisar. En cambio, el jabón y la miel presentan dificultades para fluir con facilidad y adaptarse a la forma del recipiente.

Continuando, seguí con la siguiente pregunta: *¿cómo podríamos medir el volumen de un líquido?* Para esto, se utilizó las jeringas para la actividad cuatro. El grupo uno, dijo que las jeringas eran las encargadas de dar el volumen a los líquidos que se estaban estudiando, todos los niños concordaron que así era.



Ilustración 25. Evidencia de la actividad 4. Fuente: propia.

La siguiente pregunta planteó si se consideraba que cada jeringa que contenía 5 mililitros de agua, aceite, jabón y miel, *¿sería igual el volumen y la masa de los cuatro líquidos?* En este punto, se observaron algunas confusiones en los distintos grupos, a pesar de las definiciones previas que habían establecido. Por ejemplo, los grupos uno y cuatro mencionaron que, aunque las jeringas contenían 5 mililitros de cada fluido, no tenían el mismo volumen. Argumentaron que aún consideraban que la masa determinaba el volumen.

Por otro lado, el grupo tres, afirmaron que SÍ, si tenían el mismo volumen, debido a la definición que tenían, el volumen es ese espacio que tiene los objetos, *“a pesar de que haya o no masa de líquido o poca masa de líquido, el volumen es el mismo”*. A partir del debate, se repitieron los ejemplos con las pelotas, seguido de la pregunta sobre la masa. Los grupos uno y tres afirmaron

que los líquidos eran diferentes, por lo que no tenían la misma masa. Los grupos dos y cuatro coincidieron en esta percepción, logrando un acuerdo general. Se concluyó que los líquidos poseen masa y volumen, recordando la organización de los fluidos, donde el aceite siempre está arriba del agua. El grupo uno argumentó que esto se debía al peso, una idea respaldada por los demás grupos, excepto el grupo tres, que sugirió una relación con la densidad.

En un experimento, se midieron 1,5 gramos de agua y 2,5 gramos de aceite en una balanza. A la pregunta *de ¿cuál quedaba arriba?*, los grupos predijeron que sería el agua, pero el experimento desconcertó a todos. En ese momento, el grupo tres, destacó la importancia de la densidad, indicando que, independientemente de la cantidad de aceite, este siempre se mantendría arriba debido a su menor densidad en comparación con el agua.

<i>Densidad de los fluidos de mayor a menor</i>	
<i>Grupos</i>	<i>Orden de los fluidos</i>
1 y 4	Miel, Jabón, Agua, Aceite. Los dos grupos trabajaron juntos.
2	Miel, Agua, Aceite, Alcohol.
3	Aceite, Agua, Miel, Alcohol. Aquí se evidencian problemas a nivel práctico, ya que tuvieron dificultades al medir la masa de los líquidos, esto afectó la claridad del experimento. A pesar de haberse indicado que era necesario repetirlo más de una vez, tomaron la decisión de no hacerlo.

*Tabla 8. Elaboración propia.*

**Preguntas:** Con base en las experiencias de las actividades, ¿qué sucede al vertir todos los líquidos en el cilindro graduado? ¿Por qué se organizan de esa manera los líquidos? ¿Qué conclusiones puede sacar de la actividad en general?

<i>Preguntas</i>	<i>Explicación/Características</i>
¿Qué sucede al vertir todos los líquidos en el cilindro graduado?	<b>Grupo 1:</b> “se organizan de acuerdo con la densidad”. <b>Grupo 2:</b> “por la densidad”. <b>Grupo 3:</b> “el aceite queda arriba siempre”. <b>Grupo 4:</b> “queda en ese orden por su densidad”
¿Por qué se organizan de esa manera los líquidos?	<b>Grupo 1:</b> “es por la densidad que tenga cada líquido”. <b>Grupo 2, 3 y 4:</b> “por la densidad”

¿Qué conclusiones puede sacar de la actividad en general?

**Grupo 1:** “es por la operación de  $P = m * d$  y  $d = v/m$ ”.

**Grupo 2:** “que la densidad es la que ordena los líquidos”.

**Grupo 3:** “No todos los líquidos tienen la misma densidad”.

**Grupo 4:** “no importa el peso, siempre se ordena por su densidad”

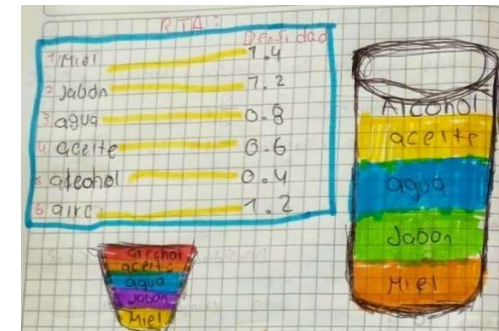


Ilustración 26. Dibujo hecho por los estudiantes.  
Fuente: propia.

Tabla 9. Elaboración propia.

Se ha presentado la primera fase de la implementación, centrada en la relación entre densidad y el fenómeno de la flotación, así como la fluidez de algunos líquidos. La construcción y análisis de esta parte son fundamentales para comprender la implementación completa, que incluye las fases II y III (Anexo 3). En el próximo capítulo, se presentarán los resultados de la propuesta de aula.

#### 4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS DE LA PROPUESTA DE AULA

En este apartado, el lector encontrará los resultados de la propuesta de aula que sintetizan las tablas y análisis que se presentaron en el capítulo tres, como en los anexos correspondientes. Como se expone en el capítulo dos, las actividades experimentales se dividen en tres fases distintas, cada una con un objetivo específico y su respectivo taller.

##### 5.1. Resultados de la Fase 1. Las características y el comportamiento de los líquidos a través del estudio de la variable de la densidad

La fase I estaba diseñada para la etapa inicial, donde se buscaba que los estudiantes observaran *las características y el comportamiento de los líquidos a través del estudio de la variable de la densidad y del fenómeno de la flotación* (véase el capítulo 3).

El taller se tituló *“Ordenando los fluidos a través de su densidad”*. La **primera actividad** propuesta fue *“caracterizar los fluidos en su fluidez”*, con la siguiente pregunta: ¿Cuál sería el orden de mayor a menor fluidez de los líquidos?, nombre las posibles explicaciones para que haya mayor o menor fluidez. La intención era identificar a través del lenguaje las ideas preexistentes que tenían los niños sobre la fluidez de los líquidos.

Lo que se encontró fue que todos los niños ordenaron de manera correcta la fluidez de cada líquido, en el siguiente orden: Alcohol, Agua, Aceite, Jabón y Miel. Sin embargo, intercambiaron el orden del agua y el alcohol, ya que para ellos era casi imperceptible la diferencia (a pesar del olor). Algunos de los argumentos que expusieron los estudiantes para dar una explicación a esta cualidad fueron: *“El alcohol es el que tiene más densidad del fluido, corre más rápido y el alcohol no se adelgaza al hacerlo”*, *“El aceite es un poco más espeso, tan espeso como el alcohol y el aceite cuando baja fluye más rápido de lo normal”*, *“El aceite fluye o cae con una densidad media, ya que es resbalosa”* y *“La miel es super espesa pero el agua, alcohol, aceite son perfectamente líquidos y la miel cuando la echamos se va adelgazando cada vez que baja”*, por poner algunos ejemplos. Se observa que los estudiantes de octavo grado ya reconocen términos como *“densidad”*, *“espesa”* o *“espeso”*. También lograron identificar que la rapidez es una cualidad directa de los fluidos más fluidos;

de hecho, uno de los grupos utilizó un cronómetro. Además, se presentaron varios argumentos, aunque no son muy comunes, como hablar de la temperatura. A pesar de esto, se puede concluir que, en esta actividad, aunque los estudiantes conocen las palabras, aún no comprenden completamente el concepto que hay detrás, no intuyen cómo se pueden relacionar estas variables de medición entre ellas, si es que hay relación. Por ejemplo, cuando mencionaban el "espesor", se referían más a la viscosidad y creían que tenía una relación directa con la densidad, esto se hizo evidente en actividades posteriores.

**Actividad dos y tres: “Flota o se hunde” y “Masa y Volumen”.** En estas actividades se hizo las siguientes preguntas<sup>6</sup>, ¿Qué pasaría si vierte aceite y miel en un mismo vaso? ¿Qué pasaría si vierte el agua y miel en un mismo vaso?, y ¿Hay alguna diferencia entre la masa y el peso? En estas dos actividades, se tuvo la intención de que los niños reconocieran el fenómeno de flotación a través de los fluidos, por eso surgió también la necesidad de hacer la diferenciación entre la masa y el peso<sup>7</sup>, para así empezar a discutir sobre el volumen y cómo estas relaciones dan sentido al concepto de densidad. Estas fueron algunas afirmaciones para las preguntas: “**Hipótesis:** *el aceite queda arriba de la miel*”, **Experiencia:** *si paso lo que habíamos escrito. Esto sucede porque es más pesada o densa la miel*”, “*Si tiene diferencia la masa y el peso, ya que la masa se conforma con el volumen, y la masa se pesa, la densidad aumenta de acuerdo con el tamaño del cuerpo*”. Inicialmente, las afirmaciones generaban confusión, en los experimentos de “*flota o se hunde*”, los estudiantes argumentaban que el líquido que quedaba abajo tenía mucho peso, relacionándolo directamente con la densidad (a mayor peso, mayor densidad). Sin embargo, al preguntarles sobre la diferencia entre peso y densidad, no sabían responder, al hablar de volumen, también

---

<sup>6</sup> Solo se presentan algunas de las preguntas, ya que son varias las que se hicieron en los talleres, con el fin de facilitar la revisión de los resultados obtenidos en cada actividad. Si desea consultar todas las preguntas con sus respuestas, puede encontrarlas en el capítulo 3 para la fase I o en los anexos correspondientes a las fases II y III.

<sup>7</sup> También le queremos decirle al lector, que durante las sesiones de las actividades hubo espacio para las discusiones en el cual surgieron otro tipo de preguntas que no hacen parte de los talleres, pero consideramos importante resaltarlas ya que contribuyeron al enriquecimiento de la experiencia de los estudiantes (véase el capítulo 3, pág.45)

se observaron confusiones, ya que algunos pensaban que, a mayor volumen de un cuerpo, mayor densidad. Mediante pequeñas actividades (ver pág. 45), algunos grupos lograron hacer distinciones más apropiadas entre las tres variables y proporcionar argumentos más sólidos sobre por qué los fluidos flotan uno sobre otro. Esto se evidenció especialmente en la **actividad 4: “Midiendo densidades y relacionando masa y volumen”**, donde se utilizó jeringas para abordar el volumen de los líquidos y hallar su densidad cualitativamente, proporcionando una mayor claridad a todo lo discutido.

En conclusión, lo anteriormente expuesto indica que la realización de la actividad experimental ha permitido a los niños reconocer la diferencia entre masa, volumen y densidad en cuerpos rígidos, trasladando este conocimiento a los fluidos. Aun así, se reconoce que no todos los grupos lograron llegar a una definición clara.

Prosigamos...

## **5.2. Resultados de la Fase 2. Las características y el comportamiento de los líquidos a través del estudio de la viscosidad**

**La fase II** consistió en abordar *el movimiento y las características de los líquidos a través del estudio de la viscosidad*. Durante esta fase, los estudiantes debían relacionar principalmente las variables de viscosidad, densidad, tiempo y velocidad para describir las características de los líquidos en caída en una sola dimensión (véase Anexo 3).

El taller, titulado **“El movimiento de los fluidos”**, inició con la actividad **“carreritas de piedritas”**. Durante esta fase, los estudiantes observaron la caída de un cuerpo sólido en varios líquidos previamente trabajados. Se plantearon preguntas como: ¿Influye el medio en el tiempo que tardan los cuerpos en caer? ¿Cómo cambiaría si la piedra cae en el aire? ¿Por qué el aire afecta la caída de la piedra? El objetivo era obtener argumentos de los niños sobre si el medio afecta la caída de las piedras, buscando acercarlos al concepto de viscosidad y destacar la influencia del medio en la caída de cuerpos sólidos. Algunos de los argumentos expuestos incluyeron afirmaciones como: **“La piedra se tarda más en bajar, porque es más espeso y también influye la densidad de la piedra”**, **“hay líquidos muy espesos, lo cual causa que la piedra caiga muy lenta”**, **“hay que tener en cuenta el peso de la bolita que cae y la**

*altura del vaso*". En la primera actividad, se notó que los estudiantes comenzaron a asociar la caída de las piedritas con el medio en el que caían. Detallaron el espesor de los líquidos, y curiosamente, también la altura desde la cual soltaban las piedras, cuando se les preguntó sobre el espesor, generalmente respondieron refiriéndose a que algunos líquidos se sentían más pegajosos o resbalosos, y que estos líquidos se adelgazaban al caer. Aquí ya se podía observar que los niños intuían características particulares de algunos fluidos muy viscosos.

*Actividad dos: "¿qué líquido cae primero?"*. Las preguntas iniciales buscaban ampliar la reflexión más allá de la caída de líquidos, centrándose en los gases, específicamente en el aire, para que los estudiantes comprendieran que el aire también es un fluido. La segunda actividad se basó en discusiones previas sobre fluidos, explorando líquidos que caen rodeados por otros tipos de fluidos, como el aire. Se propuso dejar caer diversos líquidos sobre superficies y observar la velocidad de caída. El objetivo fue continuar introduciéndolos al concepto de viscosidad, incitándolos a notar las diferencias y considerar variables como el tiempo y la rapidez. Se hizo las siguientes preguntas: ¿Cuál puede ser la causa de que un líquido se muevan más rápidos que otros? Algunas respuestas: *"Debido a la viscosidad. Es la resistencia que tiene el fluido para deformarse"*, *"Su viscosidad, al ser más espeso se mueve más rápido, también por su volumen"*, *"Es por la viscosidad, porque la miel es más viscosa que el jabón"* Se aclara que se empezó a utilizar el término "viscosidad" cuando un estudiante lo compartió con sus compañeros, habiendo estudiado el tema por su cuenta. Consideramos esta ocasión como una oportunidad para abordar el tema de manera más formal. A pesar de ello, en algunas afirmaciones, se reflejan varias cosas. Primero, la persistencia del uso de la palabra "espesor" para explicar el comportamiento de un fluido viscoso en caída. También se notó que algunos grupos empezaron a hablar de "resistencia". Según una niña, *"La resistencia es algo que impide que las bolitas o líquidos bajen fácilmente, más rápido y en menos tiempo"*. Sin embargo, se observaron confusiones, ya que se mencionó que un líquido más espeso se mueve más rápido, a pesar de que anteriormente el espesor se argumentaba como la razón por la cual algunos fluidos no fluían con facilidad.

*Actividad tres: Experimento demostrativo, “reloj de líquidos”.* Este experimento tenía como objetivo mostrar a los estudiantes la diferencia entre densidad y viscosidad en la caída de gotas (otra manera de ver la caída de líquidos). Observaron gotas cayendo entre diferentes líquidos para comprender cómo interactúan, y se destacó el fenómeno de flotación al dejar caer varias gotas, como las de agua sobre aceite. Esto se relacionó con la observación de variables como rapidez y tiempo. La pregunta que se les dio fue ¿Qué pasa si dejas caer gotas de miel entre agua o gotas de jabón entre aceite?, según lo discutido con el reloj de arena. Algunas de las respuestas: *“la miel bajaría rápido gracias a la viscosidad”, “si dejamos caer gotas de miel en agua, el agua se va a quedar arriba, y la miel estaría abajo debido a la densidad. Cuando la miel cae, puede caer a una velocidad media por la viscosidad. Si dejamos caer gotas de aceite en agua, el aceite queda arriba porque tiene menos densidad”.* Especialmente sentimos que, con este experimento demostrativo, en algunos grupos logramos una distinción clara entre la densidad y la viscosidad. No solo eso, también observamos que al relacionar el comportamiento de la gota cayendo y, en otro caso, subiendo sobre otros líquidos, los estudiantes lo vincularon con el tiempo y la rapidez. Fue una de las actividades en las que la mayoría de los estudiantes demostraron mayor claridad.

Y finalmente ...

### **5.3. Resultados de la Fase 3. Estudio de Características del Comportamiento de los Líquidos en su Caída, Teorema de Torricelli**

**Fase III**, última fase que se centró en el movimiento y la caída de líquidos utilizando el experimento del Teorema de Torricelli. El propósito fue que los estudiantes describieran el comportamiento semiparabólico de los fluidos al caer, considerando variables como viscosidad, densidad y velocidad. Se relacionó el concepto de presión con la altura del recipiente y el alcance de los chorros (véase Anexo 3).

**Actividad 3: “El problema de los tres huecos”** Se llevó a cabo esta actividad en la Universidad Pedagógica Nacional<sup>8</sup> en dos sesiones acompañada por la profesora Marina Garzón. El objetivo de esta actividad fue abordar el problema de los tres chorros de agua, que salen a través de tres orificios ubicados en un cilindro lleno de agua hasta la superficie. La caída de los chorros se consideró en dos dimensiones. La intención fue que los estudiantes del seminario realizarán los experimentos en grupo y presentarán los resultados experimentales. Esto se llevó a cabo en una primera sesión, mientras que en la segunda se exploraron los argumentos desde una perspectiva más formal, matematizando el problema.

Preguntas después del experimento: ¿Cómo salen los tres chorros? Según lo observado, ¿por qué crees que los chorros salen de esa manera? A continuación, se presentará un breve análisis sobre uno de los grupos. En los anexos, encontrará la sistematización de los grupos restantes.

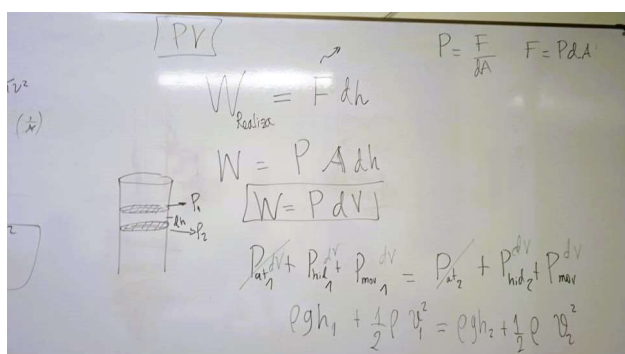


Ilustración 27. Evidencia de la actividad 1. Fuente: análisis de estudiante 1.

El primer estudiante, al presentar su análisis, enfocó su explicación en comprender la presión para interpretar el fenómeno de los chorros. Utilizó un dibujo del tubo con dos discos transversales  $P_1$  y  $P_2$ , para representar las presiones en esas áreas, notando que  $P_2$  era mayor que  $P_1$  con una separación  $dh$ . Estableció una relación con el trabajo de fuerzas no conservativas, mencionando las presiones atmosféricas, hidrostáticas y dinámicas según el marco teórico. Concluyó mencionando la ecuación de Bernoulli como la suma de estas presiones, aunque no logró clarificar la relación entre la velocidad de salida de los fluidos y su alcance en el eje horizontal X.

<sup>8</sup> En el anexo 3 (véase pág. 99), se explica las razones por las cuales esta última fase y en especial la actividad 3, se hizo en la Universidad Pedagógica Nacional.

## 5. CONCLUSIONES

A lo largo del proceso de esta investigación, podemos afirmar que los estudiantes de octavo grado lograron analizar características del comportamiento de los fluidos en caída a través de la actividad experimental, esto se consiguió mediante las actividades experimentales que se desarrollaron, inspirados en los trabajos de Torricelli y G.G. Stokes, abordando conceptos de reología, centrados en el comportamiento de los líquidos en caída.

Durante la investigación de este trabajo, se destacó la necesidad de mejorar la propuesta de la secuencia de actividades, ya que el contexto lo requería. De esta manera, podemos abordar una de nuestras preguntas de investigación: *¿Qué tipo de actividades experimentales permiten caracterizar el comportamiento de los líquidos en caída?* Algunas de estas actividades, no presentes en los talleres, se inspiraron en las inquietudes de los niños durante las clases. Un ejemplo son los experimentos de las tres sesiones destacadas en el capítulo tres. Se logró obtener material rápidamente para abordar dudas, como esferas del mismo tamaño, pero con diferente masa y material, o esferas de diferentes tamaños, pero con la misma masa para abordar la densidad. Esto generó nuevas preguntas que no estaban previstas, destacando la importancia de estar preparados para resolver inquietudes de manera inmediata. Este hecho demuestra que las propuestas iniciales no siempre son suficientes, ya que constantemente surgen nuevas preguntas que requieren otro tipo de respuestas.

Tomando en consideración lo anterior, podemos decir que los estudiantes consiguieron formalizar e interiorizar conceptos de fluidos, a través de la actividad experimental, también mediante la relación constitutiva, puesto que la relación entre variables de los diferentes conceptos que se enseñó a lo largo de las sesiones les permitió llegar a descripciones apropiadas sobre la caída de los líquidos. Que son las siguientes:

*Reconocer las explicaciones que hacen los estudiantes para caracterizar el comportamiento de los líquidos en su caída a partir de sus actividades experimentales (responde a las descripciones hechas por los estudiantes):*

- El volumen y la densidad son dos cualidades diferentes.

- Logran caracterizar la densidad a través del volumen y la masa.
- Reconocen que la densidad y la viscosidad son cualidades diferentes.
- Identifican que el aire también puede ser un fluido.
- Evidencian que la rapidez y el tiempo en el que tarda los líquidos o gólicas en caer en medios que también son fluidos, hace parte de las características para comprender la caída de los líquidos.
- Otro grupo de estudiantes, consideran que el aire no es un fluido puesto que no entiende cómo se puede medir el “vacío”.
- Reconocen que la masa y el peso son cualidades diferentes.
- Identifican que la fluidez de un líquido da razón de que tan viscoso es un líquido, y porque se puede demorar en caer.
- Logran caracterizar el fenómeno de flotación a partir de la densidad.

Por otra parte, se puede concluir que los estudiantes del seminario también lograron caracterizar el comportamiento de los líquidos en caída, pero de una manera particular en comparación con los estudiantes de octavo grado. Esto parece obvio a la vista de cualquiera, dado que los estudiantes universitarios tienen mayores herramientas conceptuales y experiencias, teniendo en cuenta que igualmente estudian física. En cambio, los niños y niñas del colegio están teniendo sus primeros acercamientos, no sólo a temas relacionados con la física, sino también a la mecánica de fluidos y la práctica experimental, sin embargo, se quería explorar con ellos la potencialidad de las actividades experimentales para generar escenarios de discusión sobre caída de los fluidos, en diferentes niveles de conocimiento.

Los estudiantes universitarios caracterizaron la caída de los líquidos a través de un montaje experimental muy específico: el tubo con tres orificios (que son iguales), utilizando agua como único líquido. Se obtuvieron diversas explicaciones, desde una perspectiva matematizada, esto implica que los jóvenes emplearon un lenguaje matemático más formal

para explicar el fenómeno observado mediante ecuaciones. En nuestra opinión, lograron caracterizar el comportamiento de manera distinta. En primer lugar, utilizaron el experimento para teorizar, y, en segundo lugar, emplearon ecuaciones para explicar la caída de los chorros de agua, relacionando variables como la presión, la densidad y la masa, entre otras. Suponemos que, para el nivel que estaban, a diferencia de los niños, estos estudiantes en su mayoría ya que han definido con anterioridad la densidad o la viscosidad y las diferencias entre estas cualidades, mientras que con los estudiantes de octavo si era necesario que ellos tuvieran experiencia que les permitieran hacer diferenciaciones para así lograr dar explicaciones al fenómeno que estaba estudiando. Por último, se destaca que dos cosas muy puntuales:

- La relación físico-matemática, constitutiva, es igualmente, parte de los análisis que los estudiantes dedujeron de las experiencias. Se ve con claridad cómo utilizan la relación entre variables para medir y dar explicaciones a la caída de los líquidos. A pesar de ello, cuando hacen la descripción de la caída utilizando el modelo teórico del fenómeno, el modelo no es suficiente para los diferentes casos que ocurren en los montajes experimentales con las variaciones que le hicieron al diseño. Esto implica regresar a un análisis cualitativo para dar cuenta de los casos específicos y tener en cuenta las diferentes variables que no se contemplan en el modelo ideal (matemático). Para esto, podemos ver un ejemplo, véase la página 111.
- Algunos de los grupos no utilizaron la matematización; en cambio, optaron por un enfoque más cualitativo y presentaron sus observaciones mediante dibujos. Concluimos lo siguiente: a pesar de que parte de la justificación para llevar a cabo esta investigación fue el hecho de que en la literatura a menudo interpretaba de manera errónea los resultados del experimento de Torricelli,

específicamente en lo que respecta al problema de los tres orificios, estas experiencias con los estudiantes universitarios nos mostraron que no hay una única respuesta posible. Por el contrario, un solo experimento puede generar una variedad de respuestas que no se habían considerado previamente y que pueden tener explicaciones diversas. No se puede negar que para varios académicos esto ya no sería un problema particular del Teorema de Torricelli, ya que también cambiarían las condiciones iniciales en las que se realiza la experiencia. Sin embargo, cabe resaltar que nuestro objetivo en todo el proceso no es simplemente enfocarnos en el teorema, sino también comprender cómo caen estos chorros en el agua utilizando estos montajes experimentales.

### ***5.1. Reflexiones finales***

Se reconoce el valor que tuvieron los diferentes experimentos llevados al aula, ya que se evidenció que la mayoría de los estudiantes adquirieron aprendizaje sobre la caída de los fluidos. Aun así, se observa que otra parte de la población no logró integrarse con entusiasmo a las diversas actividades que le propusimos. Esto sugiere que, en caso de que alguien desee continuar con este trabajo de investigación, siéntase libre de seguir enriqueciendo la actividad experimental ya presentada.

## BIBLIOGRAFÍA

- Atkin, J.K., 1989. .. and nothing but the truth!, *Physics Education*, 24, 67-68.
- Avendaño , J., Briceño, M. I., & Rojas, O. (2012). *Fundamentos de Reología*.
- Bermúdez, S. (1986). *Fundamentos de Hidraulica e Instalaciones de Abasto en las Edificaciones. Primera parte*. Medellin: Universidad Nacional de Colombia.
- Bistafa, S. (2014). A lei de Torricelli  $v=\sqrt{2gh}$ : Uma tradução comentada de sua origem no De Motu Aquarum (Do Movimento das Águas).
- Bonilla, C. (2015). *Reflexiones sobre la relación física y matemática en la enseñanza de la física. Estudio de caso: termodinámica de clapeyron*. Universidad Pedagógica Nacional de Colombia, Bogotá D.C. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12209/2117>
- Božić , M., Davidović, M., Marković-Topalović, T., & Sliško, J. (2020). Visualizing Properties of a Quadratic Function Using Torricelli's Fountain. Retrieved from <https://doi.org/10.1119/1.5145475>
- Centro de Psicoterapia Cognitiva*. (2015). Retrieved from <https://terapia-cognitiva.mx/wp-content/uploads/2015/11/Teoria-Del-Desarrollo-Cognitivo-de-Piaget.pdf>
- Cutnell, J., & Johnson, K. (1999). *Physics*. Limusa.
- Galilei, G. (1945). *Diálogos acerca de dos nuevas ciencias (José San Román Villasante, trad.)*. Buenos Aires: Editorial Losada.
- Garzón, M., Tarazona , L., Sandoval, S., Malagón, J., & Ayala, M. (2020). El efecto volta. un caso de estudio sobre la producción de efectos sensibles y los procesos de teorización en ciencias. Obtenido de <https://www.scielo.br/j/epec/a/m9GzwYPfwc3NzcHHBZ4Fx9P/?format=pdf&lang=es>

- Gobierno de Canarias . (2021). Obtenido de <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/mramrod/?p=910>.
- Hernández, N. (2017). *La construcción de vínculos entre luz y color desde la perspectiva de Newton: una propuesta para ampliar el campo de los fenómenos cromáticos*. Universidad Pedagógica Nacional de Colombia, Hernández, N. (2017). La construcción de vínculos entre luz y color desde la perspectiva de Newton: una propuesta para ampliar el campo de Bogotá D.C.
- Hewitt, P. (1999). *Física Conceptual (1a. ed.)*. México: Addison wesley longman. Citación estilo chicago.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio.
- Lugo, G., & Vargas, L. (2021). *Aproximación al concepto de viscosidad: una conceptualización desde los fluidos newtonianos y no newtonianos*. Universidad Pedagógica Nacional de Colombia, Bogotá D.C.
- Maldonado, F. L. (2020). *Estudio del comportamiento reológico de la goma de celulosa, goma xantana y goma guar y sus interacciones en mezclas binarias y ternarias en disoluciones acuosas a diferentes condiciones del medio*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Ministerio de Educación Estándares Básicos de Competencias Ciencias Naturales. (2004). Obtenido de [https://www.mineduacion.gov.co/1621/articulos-81033\\_archivo\\_pdf.pdf](https://www.mineduacion.gov.co/1621/articulos-81033_archivo_pdf.pdf)
- Naranjo, J. A. (1988). *Los trabajos experimentales de Galileo Galilei* . Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia.
- Romero, Á., Rodríguez, L., & Aguilar, Y. (2008). Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/267450860>

- Salvat, A., & Sánchez, J. (1990). Didáctica de la presión hidrostática: Experiencia de Torricelli. Retrieved from <https://redined.mecd.gob.es/xmlui/bitstream/handle/11162/21960/3196-9743-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sparavigna, A. (2013). Teaching Physics During the 17th Century: Some Examples From the Works of Evangelista Torricelli. Italy. Department of Applied Science and Technology, Politecnico di Torino. Retrieved from <https://www.ijsciences.com/pub/article/694>
- Talero, P. (2022). *La alegoría del mono. Un curioso modo de escudriñar el movimiento de proyectiles*. Bogotá D.C: Editorial Feyerabend.
- Toricelli, E. (1644). *Opera Geométrica*. Publisher: [Florentiæ, typis A. Masse & L. de Landis. Retrieved from <https://library.si.edu/digital-library/book/operageometrica00torr>
- Tovar, J. (2017). *Aportes a la enseñanza de la hidráulica: un análisis histórico de Johann Bernoulli*. Universidad del Valle, Cali.
- Vélez, F. (2002). *El principio de la conservación del impulso: y las leyes de la comunicación del movimiento en el siglo XVII*. Bogotá D.C: Universidad Pedagógica Nacional de Colombia.

## **6. ANEXOS**

Anexos: Se presentan las tablas respectivas de cada fase, así como los distintos talleres que muestran las actividades experimentales llevadas a cabo en el aula, recopiladas en una cartilla, y por último la implementación y análisis de la propuesta de aula.

## 7.1. Anexo 1: Tablas de fases

### 7.1.1. Tabla fase I

Fase I	Objetivo de enseñanza	Objetivo de aprendizaje	Secciones	Actividad
<p><i>Características y el comportamiento de los líquidos</i></p>	<p>-Caracterizar y describir el comportamiento de los fluidos a través de variables, como: la densidad, la masa, el volumen y el peso.</p>	<p>-Identificar diferentes fluidos a través de su densidad, masa, volumen y peso.</p> <p>-Armar torre de densidad para identificar y describir qué fluidos flotan sobre otros fluidos.</p>	<p>Reconociendo diferentes líquidos y el fenómeno de flotación.</p>	<p>Actividad 1: Característica de los fluidos en su fluidez.</p>
				<p>Actividad 2: Flota o se hunde.</p> <p>Actividad 3: La masa, peso y el volumen. Hallar densidades.</p> <p>Actividad 4: Torre de densidades.</p>

Tabla 10. se muestra la propuesta que trae la fase. Fuente: Elaboración propia.

**7.1.2. Tabla fase II**

Fase II	Objetivo de enseñanza	Objetivo de aprendizaje	Secciones	Actividad
<p><i>El movimiento y características de los líquidos</i></p>	<p>-Comprender que la caída de los sólidos en diferentes líquidos se puede caracterizar a través de variables, como: la densidad del medio y su viscosidad y la densidad de los cuerpos sólidos.</p> <p>-Identificar que la velocidad de los fluidos depende de variables, como: el tiempo y la viscosidad de los líquidos.</p>	<p>-Describir las características del comportamiento que tienen los sólidos al caer en diferentes líquidos.</p> <p>-Reconocer que los líquidos también pueden caer.</p> <p>-Describir las características de cómo caen los líquidos.</p> <p>-Pensar que hay líquidos que pueden caer en medios líquidos y esto depende de su densidad y el medio.</p>	<p>Caída de los cuerpos sólidos en diferentes medios (reconociendo los diferentes líquidos donde caen las esferas)</p>	<p>Actividad 1: Esferas que caen en diferentes fluidos.</p>
			<p>Los líquidos también caen.</p>	<p>Actividad 2: Líquidos que caen en un plano inclinado.</p>
			<p>Los fluidos también caen en medios fluidos.</p>	<p>Actividad 3: Gotas que caen sobre fluidos.</p> <p>(Experimento demostrativo)</p>

Tabla 11. se muestra la propuesta que trae la fase II. Fuente: Elaboración propia.

**7.1.3. Tabla fase II**

Fase III	Objetivo de enseñanza	Objetivo de aprendizaje	Secciones	Actividad
<p><i>El movimiento y la caída de los líquidos, a través del teorema y el montaje de Torricelli</i></p>	<p>- Describir la caída de los chorros con relación a las variables de movimiento, como: la velocidad y el tiempo.</p>	<p>-Pensar e identificar si la geometría de los recipientes afecta la caída de los chorros.</p>	<p>La presión y la forma del recipiente (reconociendo si la geometría del recipiente afecta el alcance de los chorros de agua en caída)</p>	<p>Actividad 1: Jugando con la geometría del recipiente donde salen los líquidos.</p>
	<p>- Describir la relación que tienen la viscosidad y la densidad de los líquidos con el alcance horizontal y la velocidad de los chorros al caer.</p>	<p>-Caracterizar el comportamiento de la caída de los chorros de diferentes líquidos.</p>		<p>Actividad 2: El alcance de los líquidos en caída en dos dimensiones.</p>
	<p>- Pensar y describir que el comportamiento y el alcance de los chorros al caer, pueden depender de otras variables como: la altura del recipiente.</p>	<p>-Identificar que la caída de los chorros puede depender de variables como la altura del recipiente donde se encuentran los líquidos.</p>	<p>Describiendo el alcance de los líquidos en caída.</p>	<p>Actividad 3: El problema de los 3 huecos.  (Experimento demostrativo)</p>
			<p>La paradoja de la lata con líquidos (reconociendo el problema de los 3 chorros con diferentes líquidos)</p>	<p>Actividad 4: El problema de los 3 huecos y la viscosidad.  (Experimento demostrativo)</p>

Tabla 12. se muestra la propuesta que trae el momento III. Fuente: Elaboración propia.

***7.2. Anexo 2: Cartilla de actividades experimentales que se llevaron al aula***

# JUGANDO CON LÍQUIDOS Y OTRAS PARADOJAS DE TORRICELLI

EXPERIMENTOS PARA LA ENSEÑANZA DEL COMPORTAMIENTO DE LOS LÍQUIDOS EN SU CAÍDA

Ángela L. Talero M.

Universidad Pedagógica Nacional

2023



Ilustración 28. Fuente: propia.

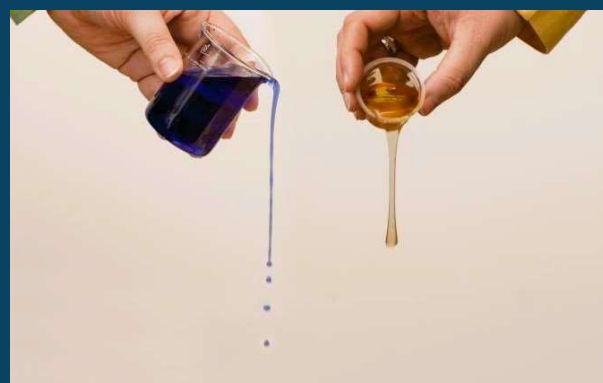


Ilustración 29. Fuente: <https://definicion.de>.

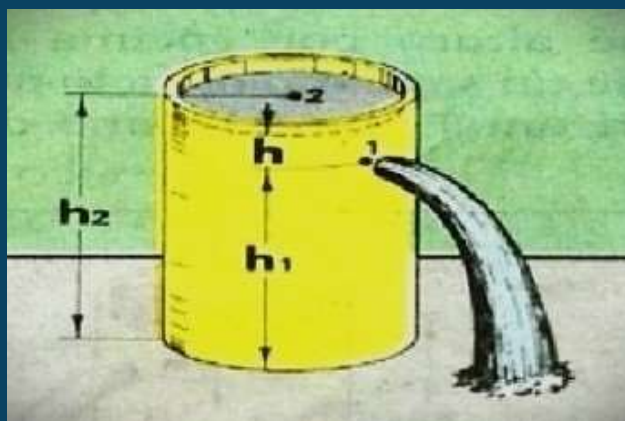


Ilustración 30. Fuente: <https://www.teorema.top/>.



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

## 7.2.1. ACTIVIDADES EXPERIMENTALES PARA LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE DENSIDAD (FASE I)

### Taller No 1: “Ordenando los fluidos a través de su densidad”

Nombres: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

<b>Objetivo</b>	Comparar la fluidez de varios líquidos y explicar las características que pueden influir en dicha fluidez. Reconocer la relación entre la densidad, la masa, el volumen y el peso. Encontrar las densidades de diferentes líquidos.
<b>Pregunta orientadora</b>	¿Cómo la relación entre la masa y el volumen explica si “flota o se hunde los líquidos”?
<b>Videos</b>	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=OwwFqSkKkIE&amp;list=LL&amp;index=14">https://www.youtube.com/watch?v=OwwFqSkKkIE&amp;list=LL&amp;index=14</a> <a href="https://www.youtube.com/watch?v=VVoylIfi0Wk&amp;list=LL&amp;index=2">https://www.youtube.com/watch?v=VVoylIfi0Wk&amp;list=LL&amp;index=2</a> <a href="https://www.youtube.com/watch?v=RD0RWeyvSHM&amp;list=LL">https://www.youtube.com/watch?v=RD0RWeyvSHM&amp;list=LL</a>

#### Actividad 1: “características de los fluidos en su fluidez”

**Materiales:** aceite, agua, alcohol antiséptico, miel, jabón de loza y vasos transparentes.

#### **Procedimiento:**

Tome 10 vasos transparentes, escoja 5 vasos y vierta en cada uno de ellos un líquido diferente que se encuentra en la lista de materiales, hasta la mitad del recipiente. Ahora traspase el vaso con aceite a un vaso vacío (con calma), haga lo mismo para los 4 líquidos restantes. Puede repetir la experiencia cuantas veces considere pertinente.

**Preguntas:**

- ¿Cuál sería el orden de mayor a menor fluidez de los líquidos?, nombre las posibles explicaciones para que haya mayor o menor fluidez.

<i>Orden de los líquidos de mayor a menor fluidez</i>	<i>Explicaciones y/o ideas sobre la fluidez de los líquidos</i>

*Tabla 13. Elaboración propia.*

## **Actividad 2**

**Materiales:** aceite, agua, aire, jabón de loza, miel, 4 jeringas, balanza y vasos transparentes.

### **Procedimiento 1: “flota o se hunde”**

Compare.

### **Preguntas:**

**Nota:** asegúrese que sean cantidades proporcionales de líquido.

- ¿Qué pasaría si vierte el agua y aceite en un mismo vaso?
- ¿Qué pasa si se vierte el agua y miel en un mismo vaso?
- ¿Qué pasaría si vierte el agua y jabón de loza en un mismo vaso?
- ¿Qué pasa si vierte aceite y miel en un mismo vaso?
- ¿Qué pasaría si vierte aceite y jabón de loza en un mismo vaso?
- ¿Qué pasa si se vierte jabón de loza y miel en un mismo vaso?
- ¿Cuál es la posible razón para que los líquidos queden en el orden que está observando en las diferentes comparaciones?

**Nota:** en su carpeta, dibuje el experimento que se está realizando.

### **Procedimiento 2**

Teniendo en cuenta la experiencia previa del procedimiento 1, compare.

### **Preguntas:**

- Vierta el doble de aceite que, de agua, ¿flotará?, ahora, si disminuye a la mitad el aceite respecto al agua, ¿flotará?  
Haga el mismo análisis, pero con el agua.

- Vierta el doble de miel que, de agua, ¿flotará?, ahora, si disminuye a la mitad la miel respecto al agua, ¿flotará?  
Haga el mismo análisis, pero con el agua.
- Vierta el doble de jabón de loza que, de agua, ¿flotará?, ahora, si disminuye a la mitad el jabón de loza respecto al agua, ¿flotará?  
Haga el mismo análisis, pero con el agua.
- Vierta el doble de aceite que, de miel, ¿flotará?, ahora, si disminuye a la mitad el aceite respecto a la miel, ¿flotará?  
Haga el mismo análisis, pero con la miel.
- Vierta el doble de aceite que, jabón de loza, ¿flotará?, ahora, si disminuye a la mitad el jabón de loza respecto al aceite, ¿flotará?  
Haga el mismo análisis, pero con el aceite.
- Vierta el doble de miel que, jabón de los, ¿flotará?, ahora, si disminuye a la mitad la miel respecto al jabón, ¿flotará?  
Haga el mismo análisis, pero jabón de loza.

🚩 **Actividad 3** (tomado del video: <https://www.youtube.com/watch?v=OwwFqSkKkIE&list=LL&index=14>)

**Primer momento: masa**

- **Conceptualización y conocimientos previos**

Relacionando sus conocimientos previos proponga algunas hipótesis en su grupo de trabajo en donde de respuesta a las preguntas.

**Preguntas:**

1. ¿Cuál de los siguientes objetos que están quietos son más fáciles de mover?, ¿por qué?
  - Un lápiz
  - Una silla del salón de clases
  - El cuaderno de física
  - Un balón de fútbol

**Respuesta:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

2. ¿Qué tiene más masa 1 kg de madera o 1 kg de acero?



*Ilustración 31. Fuente: 123RF, página web.*

**Respuesta:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3. ¿Hay alguna diferencia entre la masa y el peso?

**Respuesta:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Pregunta	Masa	Gravedad	Peso
1	35	10	
2		2	40
3	55	10	

Tabla 14. Elaboración propia.

### *Segundo momento: volumen*

- **Conceptualización y conocimientos previos**

Relacionando sus conocimientos previos proponga algunas hipótesis en su grupo de trabajo en donde de respuesta a las preguntas.

### **Preguntas:**

1. Haga de cuenta que tiene una caja, en el cual se muestra dentro de ella un balón de fútbol, como muestra la ilustración, ahora tiene la misma caja, pero ahora hay una

bola de tenis. ¿Cuál de los dos objetos ocupa mayor espacio dentro de la caja?, ¿por qué?



Ilustración 32. Fuente: ¿Qué es el volumen?, vídeo de YouTube.

**Respuesta:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### Tercer momento: “midiendo densidades, relacionando la masa y el volumen”

Tome 4 jeringas y péseles en la balanza, después con la primera jeringa saque 50 cm<sup>3</sup> de agua y pésela en la balanza y anote su valor. Ahora haga lo mismo con el alcohol, miel y aceite. Halle las densidades de cada líquido, teniendo en cuenta la expresión:  $D = \frac{m}{v}$

Para hallar la densidad de forma correcta, es necesario hallar la masa de los líquidos, para esto, se tiene en cuenta el peso de la jeringa, también la existencia del aire (que igualmente es un fluido). Verifique que cuando saque los 50 cm<sup>3</sup> de líquido no haya aire dentro de la jeringa, y haga el siguiente procedimiento:

$$m_{\text{Líquido}} = m_{\text{Jeringa+líquido}} - m_{\text{Jeringa}}$$

**Preguntas:**

Ordene los fluidos de mayor a menor densidad. Con base a la experiencia del *procedimiento 1*: “flota o se hunde”, los líquidos que flotan ¿tiene más o menos densidad? ¿por qué?

<i>Densidad de los fluidos de mayor a menor</i>

*Tabla 15. Elaboración propia.*

 **Actividad 4**

**Materiales:** aceite, agua, jabón de loza, miel, 5 vasos transparentes y cilindro graduado.

**Procedimiento:**

Tome 4 vasos transparentes y en cada uno de ellos, derrame un líquido diferente que se encuentra en la lista de materiales, asegúrese que todos los vasos tengan la misma proporcionalidad de líquido.

**Preguntas:**

- Con base en las experiencias de las actividades, ¿qué sucede al vertir todos los líquidos en el cilindro graduado?
- ¿Por qué se organizan de esa manera los líquidos?
- ¿Qué conclusiones puede sacar de la actividad en general?

**Nota:** en su carpeta, dibuje el experimento que se está realizando.

**7.2.2. ACTIVIDADES EXPERIMENTALES PARA LA ENSEÑANZA DEL  
CONCEPTO DE VISCOSIDAD (FASE II)**

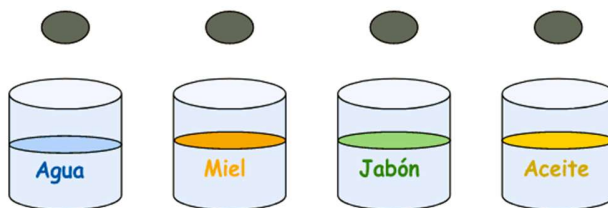
**Taller No 2: “El movimiento de los fluidos”**

**Nombres:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

<b>Objetivos</b>	<p>Reconocer las diferencias y las características (viscosidad y densidad) del medio en el que caen los sólidos y los líquidos.</p> <p>Establecer la relación entre la caída de los sólidos y líquidos en el mismo medio.</p> <p>Comparar la caída de sólidos con caída de líquidos.</p>
<b>Pregunta tópico generador</b>	<i>¿Cómo afecta el medio la caída de los líquidos?</i>
<b>Videos y/o Lecturas</b>	<a href="https://www.youtube.com/shorts/icBthzOqCwI">https://www.youtube.com/shorts/icBthzOqCwI</a>

✚ **Actividad 1: “carreras de piedritas”**

**Materiales:** aceite, agua, miel, jabón de loza, vasos transparentes, cronómetro y piedras pequeña



*Ilustración 33. Fuente: Elaboración propia.*

**Procedimiento:** por grupos, tomen un vaso transparente y vierta aceite, luego deje caer una piedra pequeña y cronometre cuánto tarda en caer. Haga lo mismo con los otros tres

líquidos que están en la lista de materiales, procure que cada vaso tenga la misma cantidad de líquido.

**Preguntas:**

- Organice en el cuadro el tiempo de caída de las piedras de mayor a menor, nombrando el medio donde cayeron ¿Crees que el medio en el que caen los cuerpos influyen en el tiempo que tardan en caer?, explica tu respuesta.

**Respuesta:** \_\_\_\_\_

---

---

---

---

<i>De mayor a menor tiempo de caída las piedras</i>	
<b>Medio</b>	<b>Tiempo</b>

*Tabla 16. Elaboración propia.*

- Ahora imagina hacer el mismo experimento, pero esta vez con un medio diferente; ¿Qué cambiaría si esta vez la piedra cae en el aire?, ¿por qué crees que el aire afecta la caída de la piedra?, explica tu respuesta.

**Respuesta:** \_\_\_\_\_

---

---

---

---

- Basado en la experiencia, ¿consideras que el aire, igual que el agua y el aceite, son medios que afectan la caída de la piedra?, ¿por qué?

**Respuesta:** \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

- Compare con la experiencia anterior, ¿Qué pasaría si, dejas caer gotas de miel entre agua, gotas de jabón entre aceite? Realiza la experiencia y cronometra la caída, describe lo observado y explica tu respuesta.

**Respuesta:** \_\_\_\_\_

---

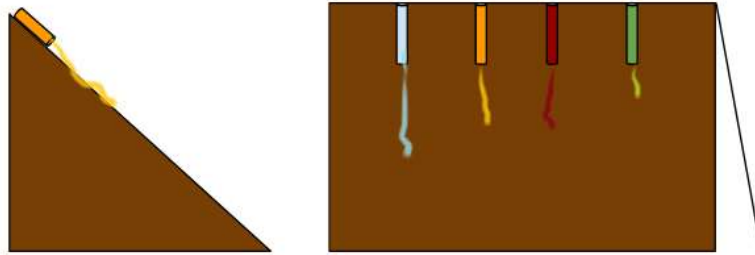
---

---

---

 **Actividad 2: “¿qué líquido cae primero?”**

**Materiales:** aceite, agua, salsa de tomate, jabón de loza, embudos, papel periódico, cartón paja y cinta.



*Ilustración 34. Fuente: Elaboración propia.*

**Procedimiento:** por grupos, tomé 4 jeringas y péguelas en el cartón paja, eleve el cartón a 45°, en cada jeringa ponga un líquido diferente, a continuación, deje caer los líquidos en la superficie del cartón, utilice el papel periódico para no dañar la mesa. Compare el deslizamiento o la caída de los diferentes líquidos y responda.

**Preguntas:**

- Describa lo que observa. ¿Cuál puede ser la causa de que un líquido se muevan más rápidos que otros? explique su respuesta.

**Respuesta:** \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

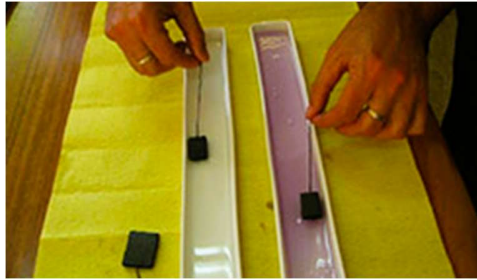


Ilustración 35. Fuente: Elaboración de vniversitat de valencia.

**Procedimiento:** por grupos, tomé cartón paja, elévelo a  $45^\circ$ , a continuación, deje caer los líquidos en la superficie del cartón, ahora desliza el objeto que fue dado al grupo en los dos líquidos diferentes, utilice el papel periódico para no dañar la mesa. Compare el deslizamiento o la caída de los diferentes objetos y responda.

**Preguntas:**

- Describa lo que observa, y con base a la actividad 2, ¿Cuál es la característica que hace que unos objetos se deslicen más fácil que otros objetos?

**Respuesta:** \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

### **Actividad 3: experimento demostrativo, “reloj de líquidos”**

**Materiales:** aceite, agua y dos botellas de gaseosa vacía.

**Procedimiento:** la profesora va a mostrar un experimento que ella traerá el día de la actividad. Con base al experimento, por grupos responda las preguntas que están anotadas y socialicen las respuestas con el curso.

#### **Preguntas:**

- Describa lo que ocurre dentro del reloj
- ¿Cuál sería la causa de que las gotas se muevan a diferentes velocidades?, ¿por qué?
- ¿Qué pasaría si volteamos el reloj?
- La densidad y la viscosidad de estos fluidos afectan el movimiento de las gotas, describa su respuesta, ¿son lo mismo?
- ¿El aire puede ser un medio viscoso? ¿por qué?

**7.2.3. ACTIVIDADES EXPERIMENTALES PARA LA ENSEÑANZA Y ESTUDIO DE CARACTERÍSTICAS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS LÍQUIDOS EN SU CAÍDA (FASE III)**

**Taller No 3: “El movimiento y la caída de los fluidos, a través del diseño experimental sobre el cual Torricelli desarrolla el teorema que lleva su nombre y el teorema de Torricelli”**

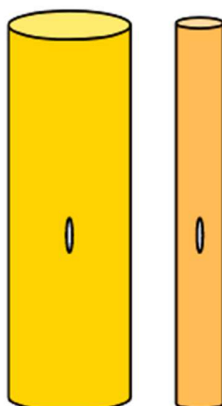
**Nombres:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

<b>Objetivos</b>	Describir la caída y el alcance de los chorros, relacionado la viscosidad y densidad de los líquidos con el alcance horizontal.  Pensar y describir el comportamiento y el alcance de los chorros al caer, puede depender de otras variables como: la altura del recipiente.
<b>Preguntas orientadoras</b>	<i>¿Cómo las cualidades de los fluidos (la densidad y viscosidad) pueden describir la caída de los chorros?</i>

**Basados en los talleres 1 y 2 y las actividades anteriores, en grupos realicen el siguiente taller.**

**✚ Actividad 1: “la geometría de la lata”**

**Materiales:** agua y dos tubos con un orificio en la mitad.



*Ilustración 36. Fuente: Elaboración propia.*

**Procedimiento:** por grupos, tomé uno tubo delgado, en el vierta agua hasta el borde de este, luego destape el hueco, y observe cómo sale el chorro de agua, haga el mismo procedimiento, con el tubo ancho.

**Preguntas:**

Describa cómo salen los chorros.

- Con una regla mida el alcance del chorro del tubo delgado, cuando este cae al suelo, haga el mismo procedimiento con tubo ancho, ¿los chorros tienen el mismo alcance?

**Respuesta:** \_\_\_\_\_

---

---

---

---

- Dependiendo de lo que observas y tu respuesta, ¿qué explicaciones puedes dar a la semejanzas o diferencias en los alcances de los chorros?

**Respuesta:** \_\_\_\_\_

---

---

---

---

**✚ Actividad 2: “los tubitos con los huecos”**

**Materiales:** aceite, agua, jabón de loza y alcohol.



*Ilustración 37. Fuente: Elaboración propia.*

**Procedimiento:** por grupos, tome uno tubo, en el vierta agua hasta el borde de este, luego destape el hueco, y observe cómo sale el chorro de agua, haga el mismo procedimiento, con el alcohol, el jabón y el aceite.

**Preguntas:**

Describa cómo salen los chorros.

- Con una regla mida el alcance del chorro de agua cuando caen al suelo, haga el mismo procedimiento con el alcohol, aceite y el jabón de loza, ¿todos los chorros tienen el mismo alcance?

**Respuesta:** \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

- Dependiendo de lo que observas y tu respuesta, ¿qué explicaciones puedes dar a la semejanzas o diferencias en los alcances de los chorros de los diferentes líquidos?

**Respuesta:** \_\_\_\_\_

---

---

---

---

- Ahora, si el hueco del tubo se agranda, ¿Cómo crees que se ve afectado el alcance de los chorros? Explica tu respuesta.

**Respuesta:** \_\_\_\_\_

---

---

---

---

 **Actividad 3: “el problema de los tres huecos”**

**Materiales:** agua y un tubo con huecos.



*Ilustración 38. Fuente: Elaboración propia.*

**Procedimiento:** por grupos, tome uno tubo, en el vierta agua hasta el borde de este, luego destape los tres huecos al mismo tiempo, y observe cómo sale los diferentes chorros de agua.

*Antes de hacer el experimento, ¿cómo crees que salen los tres chorros? Explica tu respuesta.*

**Preguntas después de haber hecho el experimento:**

Describe cómo salen los tres chorros.

- Según lo observado ¿por qué crees que los chorros salen de esa manera?
- ¿Qué pasaría si haces el mismo experimento, pero con aceite?, ¿por qué crees que los chorros salen de esa manera?

**Respuesta:** \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

### 7.3. Anexo 3: Implementación y análisis de la propuesta de aula.

#### 7.3.1. Actividades Experimentales para la Enseñanza del Concepto de Viscosidad (fase II)

**Fase II:** En esta fase, se abordó *el movimiento y las características de los líquidos*. El propósito fue que los estudiantes relacionarán principalmente las variables de viscosidad y densidad. También explorando variables como el tiempo y la velocidad, las cuales, junto con la densidad y viscosidad, son necesarias para describir las características del comportamiento de los líquidos en su caída en una sola dimensión.

##### Actividad 1: “carreritas de piedritas”

La intención de esta actividad inicial fue que observarán la caída de un cuerpo sólido en varios líquidos que hemos trabajado. Queríamos escuchar y leer sus argumentos sobre si el medio afecta la caída de las piedras, mediante la comparación. Buscábamos acercarlos a una primera comprensión de la viscosidad y destacar que el medio influye en la caída de cuerpos sólidos. Al final de las actividades, nos proponíamos plantear la siguiente pregunta: *¿El medio también afecta la caída de los líquidos?*

**Materiales:** aceite, agua, miel, jabón de loza, vasos transparentes, cronómetro y piedras pequeña

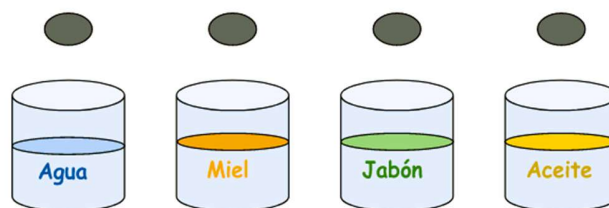


Ilustración 33. Fuente: Elaboración propia.

**Procedimiento:** por grupos, tomen un vaso transparente y vierta aceite, luego deje caer una piedra pequeña y cronometre cuánto tarda en caer. Haga lo mismo con los otros tres líquidos que están en la lista de materiales, procure que cada vaso tenga la misma cantidad de líquido.

**Preguntas:** Organice en el cuadro el tiempo de caída de las piedras de mayor a menor, nombrando el medio donde cayeron ¿Crees que el medio en el cae los cuerpos influyen en el tiempo que tardan en caer?, explica tu respuesta.

A continuación, se presentan las características y explicaciones que proporcionaron los grupos respecto al orden *de la caída de las piedras*. Para esto, se agruparán según las similitudes de sus respuestas.

Para la primera actividad se contó 8 grupos, en el cual solo 6 hicieron la práctica experimental.

<i>De mayor a menor tiempo de caída las piedras</i>		
<b>Grupo</b>	<b>Tiempo y Líquidos</b>	<b>Explicación</b>
1	Miel 1 m, 24 s. Jabón 0 m, 0 s, 72 ms. Agua 0 m, 0 s, 02ms	“La piedra bajó demasiado lento en la miel, además se camufló y no se vio. En cambio, el agua fue muy rápido, mientras que el jabón fue solo un poco más lento que el agua”
2	Miel 0 m, 74 s. Jabón 0 m, 99 s. Agua 0 m, 29 s	“Sí, porque depende en qué líquido caiga la piedra”
3	Jabón 0 m, 0 s, 35 ms. Aceite 0 m, 0 s, 34 ms. Agua 0 m, 0 s, 22ms	“La piedra se tarda más en bajar, porque es más espeso y también influye la densidad de la piedra”, “hay líquidos muy espesos, lo cual causa que la piedra caiga muy lenta”, “hay que tener en cuenta el peso de la bolita que cae y la altura del vaso” <i>Se aclara al lector que acá hay tres opiniones diferentes, puesto que los niños tenían diferentes ideas.</i>
4	Miel 1 m, 3 s. Aceite 0 m, 0 s, 76 ms. Alcohol 0 m, 0 s, 68 ms	“Si el líquido es más baboso se demora la piedra en bajar”, “es más líquido el aceite y la miel es espesa por eso se demora más la piedra en caer en la miel que en el aceite” <i>Se aclara al lector que acá hay tres opiniones diferentes, puesto que los niños tenían diferentes ideas.</i>
5	Miel 1 m, 10 s. Aceite 0 m, 0 s, 42 ms. Agua 0 m, 0 s, 35ms	“ <b>Hipótesis:</b> la piedra tarda más en la miel, por la textura, el aceite tarda un poco más que el agua porque tiene una textura menos espesa y el agua pues es de una textura muy líquida”
6	Jabón 0 m, 1 s, 22 ms. Aceite 0 m, 1 s, 05 ms. Agua 0 m, 0 s, 60ms	“Nosotros pensamos que el tiempo que se demora en caer la piedra, es por la

		densidad, se demora más en dejar espacio cuando la roca cae, también por la masa que hay en el recipiente (volumen) y por el medio que cae” <b>Acá se evidencia una confusión clara entre la masa y el volumen creyendo que es exactamente lo mismo.</b>
--	--	---

Tabla 17. Elaboración propia.

Ahora imagina hacer el mismo experimento, pero esta vez con un medio diferente; ¿Qué cambiaría si esta vez la piedra cae en el aire?, explica tu respuesta. Basado en la experiencia, ¿por qué crees que el aire afecta la caída de la piedra?

La intención de estas dos preguntas era trasladar la pregunta ya no a una caída de fluidos como los líquidos, si a los gases, en este caso al aire, puesto que la intención era que los estudiantes por un lado comprendieran que el aire es un fluido, pero que al caer la piedra en los gases podía tener similitudes o diferencias en la caída, se esperaba que argumentaran algunas diferencias en lo posible.

Se presentan las características y explicaciones que proporcionaron los grupos respecto a las preguntas. Para esto, se agruparán según las similitudes de sus respuestas. Para la segunda actividad se contó con 7 grupos.

Preguntas	Explicación/Características
¿Qué cambiaría si esta vez la piedra cae en el aire?	<p><b>Grupo 2:</b> “que coje velocidad y fuerza”</p> <p><b>Grupo 3:</b> “cambia la velocidad de impacto con el suelo y también la fuerza de gravedad”</p> <p><b>Grupo 4:</b> “cambia la velocidad de caída de la piedra, también depende de cuánto viento halla y el peso, que es la fuerza con la que cae”</p> <p><b>Grupo 5:</b> “afecta en el tiempo de caída. Rabota cuando caiga, aunque eso también depende de la superficie”</p> <p><b>Grupo 6:</b> “puede cambiar la gravedad, ósea, la velocidad, también puede rebotar. También, la piedra puede aumentar la velocidad al caer, porque cuando cae en agua la velocidad no es la misma”</p> <p><b>Grupo 7:</b> “la velocidad de caída cambia, igual que la fuerza de impacto contra la superficie”</p> <p><b>Grupo 8:</b> “se demora menos en caer, y tendría más velocidad, porque el aire es intangible, no se puede tocar, por eso no se demora en hacer espacio, por esa razón se demora menos en caer”</p>
¿Por qué crees que el aire afecta la caída de la piedra?	<p><b>Grupo 3:</b> “porque si va en caída hace que la piedra coja más fuerza en la caída”</p> <p><b>Grupo 4:</b> “depende del objeto, tal vez si el objeto es muy frágil un viento puede hacerlo subir y demorar su caída”.</p> <p><i>En el grupo cuatro, se evidencia que comienzan a percibir que el aire también es un fluido, ya que son</i></p>

	<p><i>conscientes de que puede haber viento que impida que la piedra caiga.</i></p> <p><b>Grupo 5:</b> “el aire puede afectar el tiempo de caída de la pelota, al aumentar la resistencia del aire que actúa sobre la pelota, lo que puede hacer es que se desacelere y demore más tiempo en caer”</p> <p><b>Grupo 6:</b> “el aire afecta la caída de la piedra, solamente si el aire es muy fuerte puede desviar la caída”</p> <p><b>Grupo 7:</b> “sí, porque ofrece resistencia dependiendo de algunos factores, como la densidad del aire y también del objeto”</p>
--	--

Tabla 18. Elaboración propia.

### Actividad 2: “¿qué líquido cae primero?”

En la segunda actividad, se tuvo en cuenta la primera, donde se discutió sobre fluidos como el aire (un gas). Se exploraron piedritas cayendo en varios líquidos, a partir de esto, se consideró pertinente explorar *líquidos que caen rodeados de otros tipos de fluidos*, en este caso, rodeados por el aire. Se propuso a los estudiantes dejar caer diferentes líquidos sobre superficies como una tabla o un balde y observar cuál caía primero. El objetivo era seguir introduciéndolos en la viscosidad y que notaran cuales líquidos caen más rápido o más lento, considerando otro tipo de variables como el tiempo y la rapidez.

**Materiales:** aceite, agua, salsa de tomate, jabón de loza, embudos, papel periódico, cartón paja y cinta.

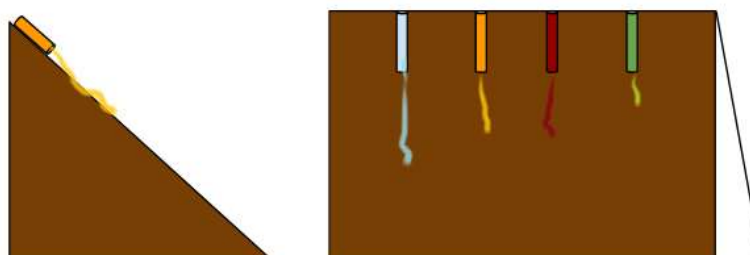


Ilustración 34. Fuente: Elaboración propia.

**Procedimiento:** por grupos, tomé 4 jeringas y péguelas en el cartón paja, eleve el cartón a 45°, en cada jeringa ponga un líquido diferente, a continuación, deje caer los líquidos

en la superficie del cartón, utilice el papel periódico para no dañar la mesa. Compare el deslizamiento o la caída de los diferentes líquidos y responda.



Ilustración 39. Evidencia de la actividad 2. Fuente: propia.

**Preguntas:** Describa lo que observa. ¿Cuál puede ser la causa de que un líquido se muevan más rápidos que otros? explique su respuesta.

Se presentan las características y explicaciones que proporcionaron los grupos

respecto a las preguntas. Para esto, se agruparán según las similitudes de sus respuestas. Para la segunda actividad se contó con 6 grupos.

<i>Preguntas</i>	<i>Explicación/Características</i>
¿Cuál puede ser la causa de que un líquido se muevan más rápidos que otros?	<b>Grupo 1:</b> “densidad y viscosidad”
	<b>Grupo 2:</b> “depende de su resistencia para deformarse”
	<b>Grupo 5:</b> “debido a la viscosidad. Es la resistencia que tiene el fluido para deformarse”
	<b>Grupo 3:</b> “su viscosidad, al ser más espeso se mueve más rápido, también por su volumen.”
	<b>Grupo 4:</b> “es por la viscosidad, porque la miel es más viscosa que el jabón”
	<b>Grupo 6:</b> “porque hay líquidos más espesos que otros, los cuales tienen mayor densidad y viscosidad”
	<i>Aquí se observa que estás relacionando directamente la viscosidad con la densidad.</i>

Tabla 19. Elaboración propia.

En esta actividad, se utilizaron objetos que se deslizaron sobre los fluidos. El objetivo fue que los estudiantes relacionarán la viscosidad con la resistencia que tenían los objetos para moverse, ya sea con mayor o menor dificultad.



Ilustración 35. Fuente: Elaboración de vniversitat de valencia.

**Procedimiento:** por grupos, tomé cartón paja, elévelo a  $45^\circ$ , a continuación, deje caer los líquidos en la superficie del cartón, ahora desliza el objeto que fue dado al grupo en los dos líquidos diferentes, utilice el papel periódico para no dañar la mesa. Compare el deslizamiento o la caída de los diferentes objetos y responda.



Ilustración 40. Evidencia de la actividad 2. Fuente: propia.

**Preguntas:** Describa lo que observa, y con base a la actividad 2, ¿Cuál es la característica que hace que unos objetos se deslicen más fácil que otros objetos?

Se presentan las características y explicaciones que proporcionaron los grupos respecto a las preguntas. Para esto, se agruparán según las similitudes de sus respuestas. Para la segunda actividad se contó con 7 grupos.

<i>Preguntas</i>	<i>Explicación/Características</i>
¿Cuál es la característica que hace que unos objetos se deslicen más fácil que otros objetos?	<b>Grupo 1:</b> “por la superficie y las propiedades del objeto”
	<b>Grupo 2, 3,4 y 5:</b> “viscosidad” <i>Desafortunadamente, estos grupos estaban muy desconcentrados lo que impidió que dieran una explicación mejor argumentada.</i>
	<b>Grupo 6:</b> “las características son la viscosidad de los fluidos. Sin embargo, en los objetos, la característica puede ser tanto el peso como la forma del objeto”
	<b>Grupo 7:</b> “es por que los líquidos espesos, y tienen más densidad y más viscosidad” <i>Acá se puede observar que relacionas de forma directa la viscosidad con la densidad.</i>

Tabla 20. Elaboración propia.

### **Actividad 3: experimento demostrativo, “reloj de líquidos”**

Este experimento ilustrativo tuvo la intención de permitir a los estudiantes observar claramente que la densidad difiere de la viscosidad. También se buscó que observarán gotas cayendo sobre fluidos, proporcionándoles una percepción clara de líquidos cayendo sobre líquidos, no limitándose al aire como la única posibilidad para la caída de los líquidos. Además, se les mostró cómo, al caer varias gotas, como muchas gotas de agua sobre un fluido como el aceite, se reordenaba y finalmente se presentaba el fenómeno de la flotación. Esto se evidenciaba al quedar una capa de aceite sobre una capa de agua. Todo esto estaba relacionado con la observación de variables como la rapidez y el tiempo.

**Materiales:** aceite, agua y dos botellas de gaseosa vacía. **Procedimiento:** la profesora va a mostrar un experimento que ella traerá el día de la actividad. Con base al experimento, por grupos responda las preguntas que están anotadas y socialicen las respuestas con el curso.

**Preguntas antes de hacer la actividad:**

¿Qué pasa si cae una gota de aceite en un vaso con agua?

Se presentan las características y explicaciones que proporcionaron los grupos respecto a las preguntas. Para esto, se agruparán según las similitudes de sus respuestas. Para la segunda actividad se contó con 7 grupos.

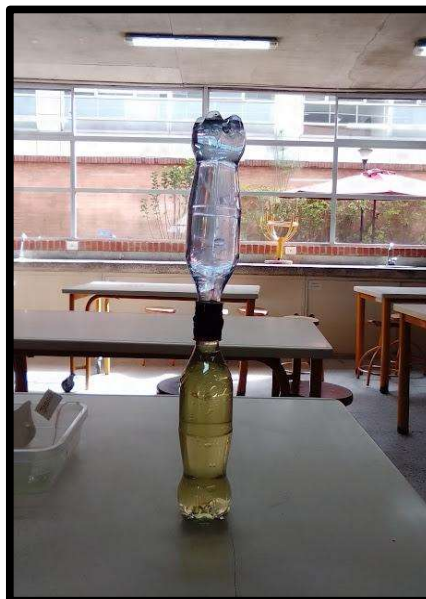


Ilustración 41. Evidencia de la actividad 3.  
Fuente: propia.

Preguntas	Explicación/Características
<p>¿Qué pasa si cae una gota de aceite en un vaso con agua?</p>	<p><b>Grupo 1:</b> “la gota de aceite se queda arriba y no se mezcla con el agua”</p>
	<p><b>Grupo 2:</b> “debido a la fuerza que ha adquirido la gota de aceite, desciende, aunque lo hace un poco por debajo del nivel del agua. Dado que el aceite es menos denso que el agua, al final permanece en la parte superior”</p>
	<p><b>Grupo 3:</b> “la gota sube porque es heterogénea”</p>
	<p><i>No está claro qué quieren decir con 'heterogénea', y aunque se les preguntó, no supieron explicarse. Parece que se referían a que tenía diferentes propiedades, pero ¿cuáles? No lo sé. Sin embargo, eso es lo que hace que la gota suba, a pesar de que se ha discutido sobre la densidad en las primeras sesiones.</i></p>
	<p><b>Grupo 4:</b> “la gota de aceite flotará en la superficie del agua, porque el aceite es menos denso que el agua.”</p>
	<p><b>Grupo 5:</b> “si el vaso está vacío y ponemos una gota de aceite, esta cae al fondo del vaso. Sin embargo, si el vaso tiene agua, la gota de aceite queda flotando en la parte superior”</p>
	<p><i>Es interesante destacar que se habla de que el vaso está vacío, cuando en realidad contiene aire. Se les preguntó si realmente consideraban que estaba vacío, y luego se dieron cuenta de que no lo estaba.</i></p>
<p><b>Grupo 6:</b> “depende de la altura de la que caiga la gota de aceite, puesto que puede quedar estable en la superficie de una vez”</p>	
<p><b>Grupo 7:</b> “sube, porque el agua es menos densa y el aceite es más denso” <i>Se ve clara confusión sobre la densidad.</i></p>	

Tabla 21. Elaboración propia.

**Preguntas después de hacer la actividad:**

¿Qué pasa si dejas caer gotas de miel entre agua o gotas de jabón entre aceite?, según lo discutido con el reloj de arena.

<i>Preguntas</i>	<i>Explicación/Características</i>
¿Qué pasa si dejas caer gotas de miel entre agua o gotas de jabón entre aceite?, según lo discutido con el reloj de arena.	<b>Grupo 1:</b> “caer gotas de miel en el agua, las gotas se disolverán y se mezclarán con el agua”
	<b>Grupo 2:</b> “la miel bajaría rápido gracias a la a viscosidad”
	<b>Grupo 3:</b> “la miel se hunde y cae lentamente; se nota la diferencia entre la miel y el agua. La miel baja más despacio, ya que el agua es más densa. La miel es muy espesa y viscosa, por lo que baja lentamente” <i>No hay claridad sobre la densidad.</i>
	<b>Grupo 4:</b> “el aceite llegaría primero que el jabón. Y la miel no bajaría por su viscosidad”
	<b>Grupo 5:</b> “en el ejemplo de una gota de miel en que cae en el agua, bajaría muy <b>rápido</b> porque la viscosidad del agua ayuda a que baje más rápido”
	<b>Grupo 6:</b> “si dejamos caer gotas de miel en agua, el agua se va a quedar arriba, y la miel estaría abajo debido a la densidad. Cuando la miel cae, puede caer a una velocidad media por la viscosidad. Si dejamos caer gotas de aceite en agua, el aceite queda arriba porque tiene menos densidad”
	<b>Grupo 7:</b> “pasaría que el jabón con aceite, el jabón baja rápido, porque el aceite es más líquido”

Tabla 22. Elaboración propia.

### **7.3.2. Actividades Experimentales para la Enseñanza y Estudio de Características del Comportamiento de los Líquidos en su Caída (fase III)**

**Fase III:** La última fase consistió en el movimiento y la caída de los líquidos, utilizando el teorema y montaje de Torricelli. El propósito fue que los estudiantes describieran el comportamiento de los fluidos al caer de forma semiparabólica, considerando variables como la viscosidad, densidad y velocidad, y por último relacionarán el concepto de la presión respecto a la altura del recipiente donde se encuentra los líquidos a estudiar con el alcance de los chorros.

#### **Actividad 3: “el problema de los tres huecos”**

Antes de describir el objetivo de esta actividad, es importante señalar al lector que en esta fase solo se llevó a cabo la actividad tres. Esto se debió a diversas situaciones que impidieron concluir la implementación en el Colegio Heladia Mejía. Considerando las restricciones de tiempo, se tomó la decisión de finalizar en la Universidad Pedagógica Nacional, durante el *Seminario de Experimentos Importantes en la Historia de la Física*, dirigido por la profesora Marina Garzón, en dos sesiones. Esto se realizó como un breve ejercicio de reconocimiento sobre el problema de la caída de los líquidos en relación con el Teorema de Torricelli.

El objetivo de esta actividad fue abordar el problema de los tres chorros de agua que salen a través de tres orificios ubicados en un cilindro lleno de agua hasta la superficie. La caída de los chorros se consideró en dos dimensiones, a diferencia de las actividades anteriores que se trataban en una sola dimensión. La intención fue que los estudiantes del seminario realizarán los experimentos en grupo y presentarán los resultados experimentales. Esto se llevó a cabo en una primera sesión, mientras que en la segunda se exploraron los argumentos desde una perspectiva más formal, matematizando el problema.

**Materiales:** agua y un tubo con huecos.



Ilustración 38. Fuente: Elaboración propia.

**Procedimiento:** por grupos, tome uno tubo, en el vierta agua hasta el borde de este, luego destape los tres huecos al mismo tiempo, y observe cómo sale los diferentes chorros de agua.

**Preguntas después de haber hecho el experimento:**

- Describe cómo salen los tres chorros
- Según lo observado, ¿por qué crees que los chorros salen de esa manera?

Se presentan las características y explicaciones que proporcionaron los grupos respecto a las preguntas. Para la actividad se contó solo con 3 grupos.

#### 7.3.2.1. Resultados sesión uno:



Ilustración 42. Evidencia de la actividad 1. Fuente: video del grupo 1.

**Grupo 1:** para empezar, se pudo observar en la ilustración 42 cómo les mostró el experimento. También se plantearon dos hipótesis: una, que los tres chorros de agua alcanzaban el mismo punto, y otra, que el chorro final llegaba más lejos, considerando la temperatura como variable. Es importante tener en cuenta que se trataba de dos hipótesis independientes, con la intención de verificar cuál de las dos resultaba correcta.

Explicaciones posibles a los resultados hecha por los estudiantes: Consideraron que el aire estaría afectando la cantidad de flujo que salía de los orificios. Por lo tanto, el tubo o el lugar donde se hizo el experimento tendría que haber sido hermético, surgiendo preguntas como: *¿Qué pasa si el tubo es cerrado?* Para que no le entre aire, también pensaron que podría depender de si la botella es flexible, ya que eso indicaría que el fluido no saldría de manera continua. Se aclara que por un instante se logró ver el efecto.



*Ilustración 43. Evidencia de la actividad 1. Fuente: video del grupo 2.*

**Grupo 2:** en la ilustración 43, se observó que el grupo llevó a cabo el experimento, pero no en una superficie como el suelo; más bien, lo realizaron a cierta altura. Esto implicó

que se vieron dos chorros, el segundo y el tercero apuntando al mismo punto fijo en el suelo, mientras que el primer orificio apuntaba a una distancia  $x$  menor que los otros dos chorros.

Explicaciones posibles a los resultados hecha por los estudiantes: Los estudiantes mencionaron que utilizaron una manguera, lo que implicó que no fuera un tubo recto o firme, con orificios alineados. Se dieron cuenta de que el agua no fluía tanto como esperaban, encontrándose con problemas prácticos. Concluyeron que los resultados variaron debido a las condiciones de la manguera, ya que esta estaba torcida la mayor parte del tiempo.



*Ilustración 44. Evidencia de la actividad 1. Fuente: video del grupo 3.*

**Grupo 3:** este grupo, en definitiva, nunca puso el tubo en una superficie; lo sostenía la mano del estudiante y el agua salía constantemente de la llave, lo que implicó tener una presión constante, mostrando los chorros en una superficie más o menos plana. Mi cuestión fue: ¿Si hubiera estado en una superficie, se hubiera podido observar de mejor manera los puntos fijos en el suelo para saber con exactitud los diferentes alcances de los chorros? Por otro lado, el hecho de que haya presión constantemente, en este caso, el agua que sale de la llave, ¿no cambiaría en parte las condiciones del experimento?

Explicaciones posibles a los resultados hecha por los estudiantes: No estaba en una superficie horizontal el tubo, y constantemente variaba la presión, lo que implicó la configuración del experimento, haciendo que la presión llegará al mismo punto y no se lograra ver la distinción entre ellos.

### Resultados sesión dos (matematización del Teorema de Torricelli)

Por último, se presenta el análisis que los estudiantes realizaron para comprender el problema de los tres chorros desde una perspectiva más formal, una mirada matemática que les pudiera proporcionar una explicación a la diversidad de resultados que dio la actividad experimental realizada en clase.

Antes de empezar, es necesario dejar claro un hecho que se presentó en la sesión dos. En primer lugar, no llegó ni la mitad de los grupos que estaban presentes en la sesión uno. Por lo tanto, no podemos realizar este análisis contando con los mismos grupos, lo que se va a hacer es analizar la participación de los estudiantes que llevaron a cabo el ejercicio y contribuyeron con sus ideas para esta investigación.

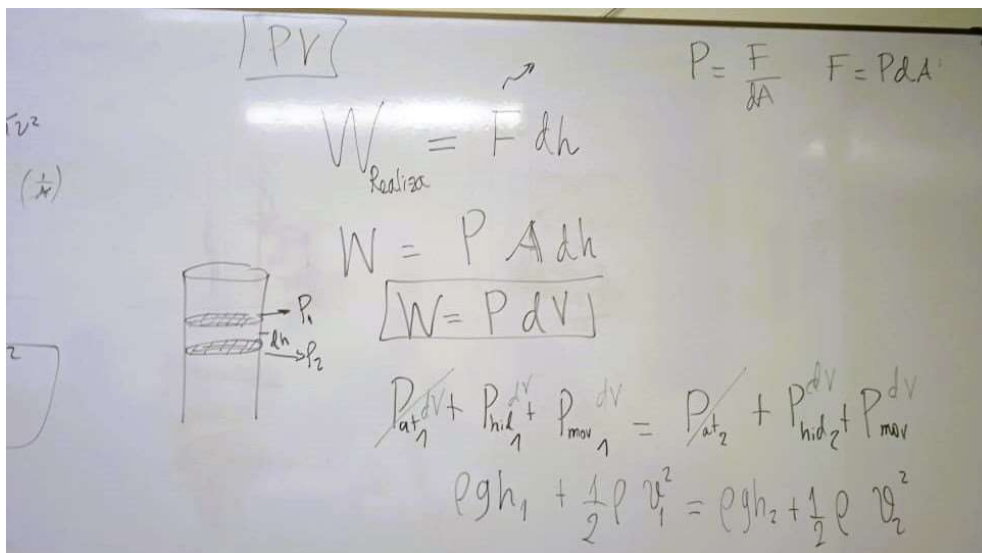


Ilustración 27. Evidencia de la actividad 1. Fuente: análisis de estudiante 1.

El primer estudiante que se puso al frente del tablero para exponer su análisis nos comentó lo siguiente: para poder dar una respuesta más acorde sobre cómo salían los chorros por los diferentes orificios del tubo, se basó en entender la presión para darle sentido al

fenómeno. Como se muestra en la ilustración 27, dibujó el tubo y señaló dos discos transversales a este, donde están  $P_1$  y  $P_2$ , que hacen referencia a las presiones en esas áreas,  $P_2$  es mayor que  $P_1$ , separados por una distancia  $dh$ .

A partir de estas afirmaciones, empezó a establecer una relación directa con el trabajo de fuerzas no conservativas, el cual explicamos en el marco teórico, indicando la existencia de las presiones atmosféricas, hidrostática y dinámica. Finalmente, el estudiante comente que la suma de estas presiones en los dos puntos  $P_1$  y  $P_2$ , llega a la ecuación de Bernoulli. Sin embargo, no logró concretar bien la relación entre la velocidad de la salida de los fluidos y su alcance en el eje horizontal X.

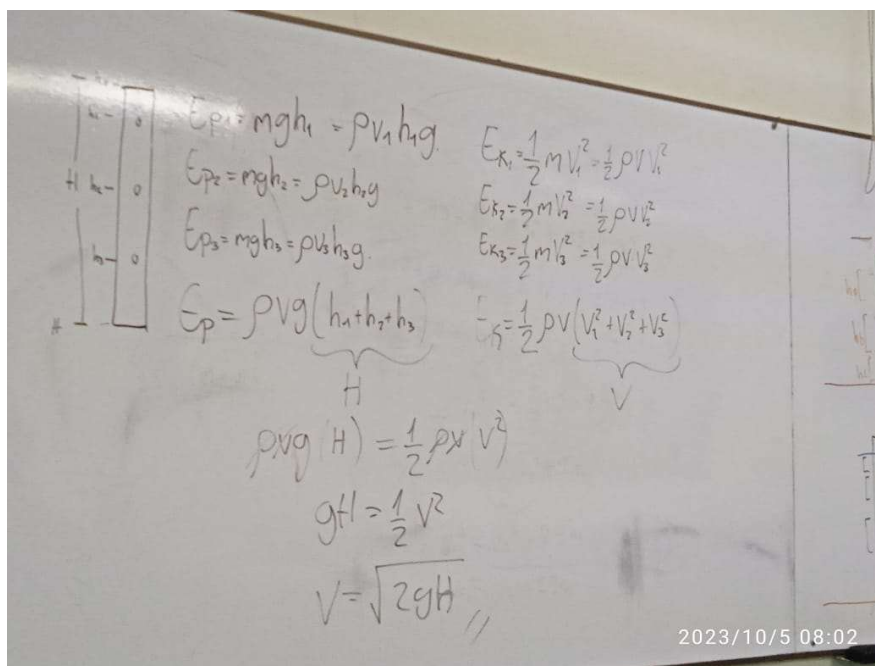


Ilustración 45. Evidencia de la actividad 1. Fuente: análisis de estudiante 2.

El segundo estudiante hizo un dibujo, como se muestra en la ilustración 45, en el que dibujó los tres orificios de donde salían los tres chorros de agua, llamándolos  $h_1$ ,  $h_2$  y  $h_3$ . Al igual que el estudiante anterior, asignó una presión estática y una presión dinámica a cada orificio. Finalmente, llegó a la ecuación de Bernoulli, estableciendo una igualdad y alcanzando a la relación  $v = \sqrt{2gH}$

Este estudiante sí logró concretar la relación de la velocidad, pero no logra dar una explicación del alcance de los chorros en el eje horizontal x. Esto mismo sucedió con el tercer estudiante (véase la ilustración 46), también hizo un análisis desde la conservación de la energía llegando a  $v_f = \sqrt{v_0^2 + 2gh_1}$

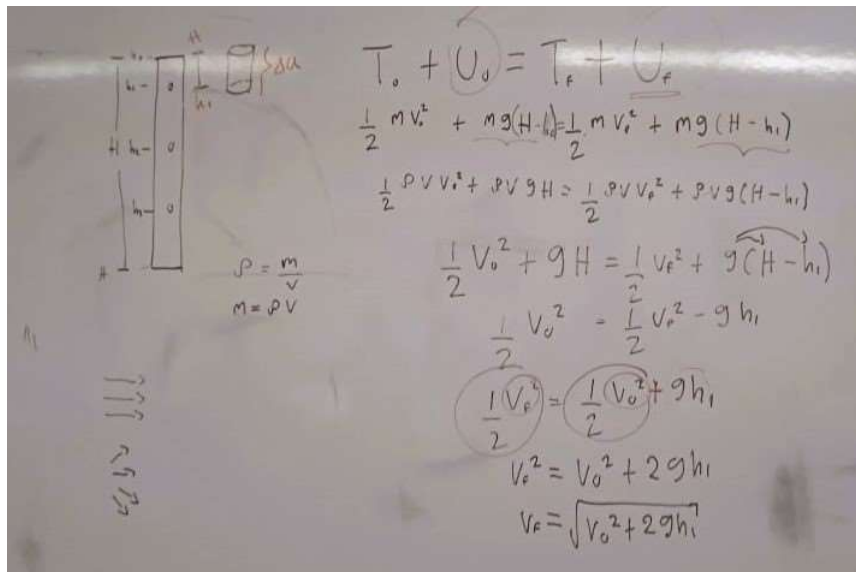


Ilustración 46. Evidencia de la actividad 1. Fuente: análisis de estudiante 3.

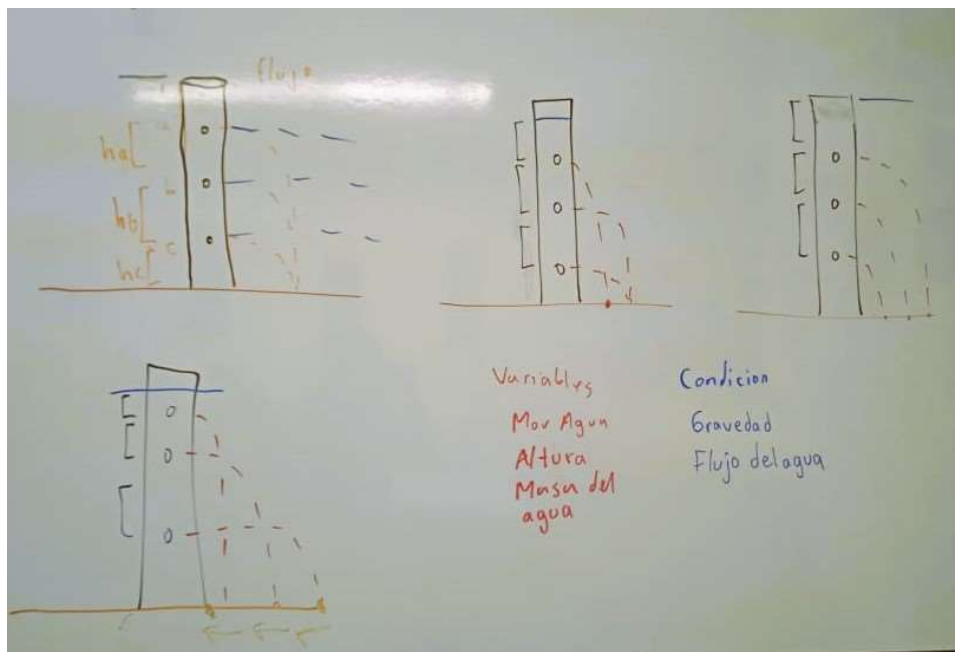


Ilustración 47. Evidencia de la actividad 1. Fuente: análisis de estudiante 4.

Por último, este estudiante, si bien no escribió fórmulas matemáticas, nos explicó que realizó cuatro esquemas diferentes de las posibles formas en las que salían los tres chorros. En su casa, llevó a cabo el experimento varias veces, y estos dibujos fueron los resultados de su observación. Utilizó como variables el movimiento del agua, la altura y la masa del agua, y consideró las condiciones de gravedad y el flujo del agua. Finalizó comentándonos que, para él, no había una respuesta única sobre cómo salían los chorros, ya que las condiciones pueden variar y, por lo tanto, los resultados del experimento también varían. Un ejemplo que mencionó fue cómo el aire puede afectar el alcance de los chorros, al igual que la cantidad de flujo.

Se puede decir que el estudiante realizó un análisis más cualitativo, relacionando las variables para darle sentido a los resultados que estaba obteniendo, estableciendo así una relación constitutiva, como se mencionó en el marco teórico. Esta relación constitutiva refleja una conexión entre la teoría físico - matemática y teórica - práctica.