

**LA TURBULENCIA, UNA MIRADA DEL SENTIR MECÁNICO Y
EXPERIMENTAL**

DANIEL CRUZ GOYENECHÉ

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA Y LA RELACIÓN FÍSICO MATEMÁTICA
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA, DEPARTAMENTO DE FÍSICA.
BOGOTÁ, COLOMBIA

2019

**LA TURBULENCIA, UNA MIRADA DEL SENTIR MECÁNICO Y
EXPERIMENTAL**

DANIEL CRUZ GOYENECHÉ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN FÍSICA

Asesor:

Profesor: YESID JAVIER CRUZ BONILLA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA Y LA RELACIÓN FÍSICO MATEMÁTICA
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA, DEPARTAMENTO DE FÍSICA.
BOGOTÁ, COLOMBIA

2019


Vivimos en el único planeta del sistema solar

Cubierto en su mayor parte por un líquido

¿Por qué no preguntarse por él?


AL finalizar este trabajo quiero utilizar este espacio para agradecer principalmente a la Universidad Pedagógica Nacional, por brindarme fantásticos momentos de mi vida que no olvidare. consecuentemente, a cada una de las personas que estuvieron incondicionalmente conmigo en el proceso de este documento, en especial a mi madre y mi hermana, amigos, compañeros y cada uno de los docentes que hicieron posible la culminación de este trabajo.

Muchas gracias...

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>UNIVERSITY OF PEDAGOGICAL SCIENCES</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación:	Página 1 de 10	

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de Grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	La turbulencia, una mirada del sentir mecánico y experimental
Autor(es)	Cruz Goyeneche, Daniel.
Director	Cruz Bonilla, Yesid Javier
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2019. 160 p.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	DINÁMICA DE FLUIDOS; TURBULENCIA; FLUJO; EULER; INSTRUMENTO EXPERIMENTAL; REPARACIÓN

2. Descripción
<p>El siguiente trabajo de grado dará a conocer una aproximación conceptual sobre la hidronimia para reflexionar sobre el fenómeno de la turbulencia, es válido mencionar que en el presente documento se tendrán en cuenta principalmente las reflexiones realizadas por Leonhard Euler de sus escritos Las memorias de presentadas a la academia de Berlín (1752) y Principia Motus Fluidorum (Euler, 1755) puesto que estas fuentes primarias son los dos documentos más relevante de él sobre la mecánica de fluidos, puesto que éstos, posibilitan un acercamiento a los sistemas dinámicos, del cual emergen elementos teóricos tales como: Clasificación de un fluido real e ideal, las reflexiones de los movimientos bruscos o errantes que se evidencian en los fluidos, entre otros, ya que estas características en particular son los componentes principales para la comprensión de un comportamiento turbulento en un fluido.</p> <p>Por otra parte, se presentan tres diferentes instrumentos experimentales los cuales son: El aparato de hilos de agua, la cubeta de líneas de flujo y el canal de corrientes de agua, es válido mencionar que estos tres instrumentos se encuentran enfocados en la visualización del fenómeno trabajado, por último, una propuesta de aula que posibilite la aproximación conceptual de la turbulencia con un enfoque constructivista de la pedagogía experimental. cabe aclarar que en el presente trabajo no se generará una implementación de esta última.</p> <p>Para el desarrollo del presente trabajo se toma de antea diferentes autores que muestran previamente sus trabajos que abordan algunos aspectos sobre la turbulencia, es el caso de la investigación titulada “Análisis Conceptual de la Dinámica de Fluidos: Fenómenos de Vorticidad y Vórtices” (Gómez, 2005) el cual aporta diversas reflexiones sobre la concepción de vorticidad y el efecto del vórtice, evidenciando como se manifiesta la turbulencia en un instante determinado en un medio continuo.</p>

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>CONSEJO NACIONAL DE UNIVERSIDADES</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación:	Página 2 de 10	

Consecuentemente el trabajo titulado “La turbulencia, un fluido irregular y complejo” (Ávila, 2006) aporta la primera aproximación dada al trabajo de investigación, donde se evidencia la relación de la práctica experimental y el análisis matemático planteado por Navier-Stokes sobre la turbulencia, por último, en el trabajo titulado “Análisis conceptual en la mecánica de fluidos: Las líneas de flujo como concepto organizador.” (Chitiva, 2013). Este trabajo muestra la importancia de comprender las líneas de flujo al momento de generar la relación que tiene con la turbulencia.

Teniendo presente lo anterior surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo se puede evidenciar el fenómeno de la turbulencia a través de la práctica experimental y con ello generar un acercamiento hacia el aprendizaje de la dinámica de fluidos?

Dada esta pregunta de investigación, se dan a conocer el objetivo general y los objetivos específicos que se tienen presentes en el desarrollo del documento.

Objetivo General

Abordar el concepto de turbulencia a través de la conceptualización teórica, el desarrollo aritmético y la actividad experimental de manera que posibilite aproximar el fenómeno y al mismo tiempo la importancia de este para la enseñanza de la física.


Objetivos Específicos

- Desarrollar un proceso histórico sobre la hidrodinámica teniendo presente el concepto de turbulencia.
- Formalizar el concepto de turbulencia desde la mirada Euleriana.
- Reparar y reconstruir diferentes artefactos experimentales que permitan visualizar el fenómeno de la turbulencia.
- Crear una propuesta de aula basada en los prototipos experimentales, que permitan la indagación y acercamiento al fenómeno de la turbulencia.

3. Fuentes

Referentes Bibliográficos

Abrahams, I. (2009). Does practical work really motivate? A study of the affective value of practical work in secondary school science. *International Journal of Science Education*.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>CONOCIENDO EL TERRITORIO</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación:	Página 3 de 10	

Avila Torres, G. A. (30 de Noviembre de 2006). La turbulencia, un fluido irregular y complejo. Bogota D.C., Colombia: Universidad Pedagógica Nacional.

Ayala M., M. M. (2006). *Los análisis historico-criticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades*. Bogota: Universidad Pedagógica Nacional.

Ballesteros Tajadura, R. (2005). *Turbulencia*. Oviedo: Universidad de Oviedo.

Briggs, J., & Peat, D. (1994). *Espejo y Reflejo: Del caos al orden Guía ilustrada de la teoría del caos y la ciencia de la totalidad*. Barcelona: Gedisa S.A.

Castillo Ayala, J. C. (30 de Enero de 2004). El concepto de corriente y la perspectiva dinámica. Bogota D.C, Colombia: Universidad Pedagógica Nacional.

Chaparro, C., Mendez, N., Pedreros, R., & Sostoque, H. (2001). Los Sistemas Dinámicos: una Perspectiva contemporanea para la enseñanza de la física. Bogota: Universidad Pedagógica Nacional.

Chitiva, J. A. (2013). Análisis conceptual en la mecánica de fluidos: Las líneas de flujo como concepto organizador. Bogota D.C., Colombia: Univerdidad Pedagógica Nacional.

Dugas , R. (1988). *A history of mechanics*. New York: Dover Publications.

Euler, L. (1755). *Principia Motus Fluidorum*. Berlín: Berlín Academy of Sciences.

Fourez, G. (1994). Alfabetizacion cientifica y tecnologica . En G. Fourez, *Alfabetizacion cientifica y tecnologica* (pág. 60 a 81). Buenos Aires.

Franklin, A. (1998). The experiment in Physisc. *Stanford Enciclopaediae*, 1-25.

Gadotti, M. (2003). El pensamiento pedagogico fenomenologico-existencialista. En M. Gadotti, *Historia de las ideas Pedagógicas* (págs. 166-182). San Paulo: Siglo XXI editores, s.a. de c.v.

García, L. I. (2016). Turbulencia homogénea e isotrópica. Medellin, Colombia: Uiversidad EAFIT.


Gonzalez, J. J. (2017). DESARROLLO CUALITATIVO DE LOS CONCEPTOS BÁSICOS DE LA MECÁNICA DE FLUIDOS: UNA APROXIMACIÓN AL PRINCIPIO DE BERNOULLI. Bogota D.C., Colombia: Universidad Nacional De Colombia.

Gutiérrez Chitiva, J. A. (2013). *Análisis conceptual en la mecánica de fluidos: Las líneas de flujo como concepto organizador*. Bogota D.C. : Universidad Pedagógica Nacional.


Harré, R. (1986). *Grandes experimentos científicos*. Barcelona: Labor, S.A.

Herrera Diaz, L. F., & Conde, A. (2001). Caos, Fluidos y Flujos. *Revista Ingeniería e investigación No 48*, 29-39.

Ibarrola, E. (2009). *Introducción al flujo turbulento*. Cordoba: UNC.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>CONOCIMIENTO AL SERVICIO</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación:	Página 4 de 10	

- Jiménez Sendín, J. (2011). *LAS TEORÍAS DE LA TURBULENCIA*. Madrid: REAL ACADEMIA DE CIENCIAS.
- Liñán, A. (2009). Las ecuaciones de Euler de la mecánica. *Real Academia de Ciencias y Universidad Politécnica de Madrid* , 151-177.
- M. ARCA, P. G. (1990). Educación para el conocimiento y conocimiento común: El papel de los Enseñantes. En P. G. M. ARCA, *El desarrollo del proceso cognitivo como tarea de la educación* (págs. 1-18).
- Munevár Molina, R. A., & Quintero Corzo, J. (2000). INVESTIGACIÓN PEDAGÓGICA Y FORMACION DEL PROFESORADO. *OEI – Revista Iberoamericana de Educación*, 01-08.
- Nowacki, H. (2007). *Leonhard Euler and the Theory of Ships*. Moscú: Universidad De Moscú.
- Parra, T. (2013). Aprendizaje practico de mecánica de fluidos computacional utilizando TIC. *Actas – V Congreso internacional latina de comunicación Social – V CILCS – Universidad de la laguna, diciembre 2013* (págs. 01-07). Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Pineda, A. G. (2005). Análisis Conceptual de la dinámica de fluidos: fenómenos de vorticidad y vórtices. Bogota D.C., Colombia: Universidad Pedagógica Nacional.
- Ramon Peralta , F. (1993). *Fluidos: Apellido de líquidos y gases*. Mexico D.C.: Fondo de Cultura Economico S.A.
- Ruelle, D., & Takens, F. (1971). On The Nature Of Turbulence. *Conférences de H. Brézis, D. Ruelle et F. Takens et un texte de R. Gérard et Mme A.* (págs. 1-44). Starasbourg: Numdam.
- Suay Belenguer, J. M. (2008). Los Molinos y las Cometas de Mr. Euler Le fils. *Quaderns D’Hisória De L’Enginyeria*, 117-144.
- Thumper, R. (2003). The Physics Laboratory - A Historical Overview and Future Perspectives. *Science & Education* , 645-670.
- Truesdell, C. (1975). *Ensayis de la historia de la mecánica*. Madrid: Tecnos.
- Vazquez Garcia, F. (2013). *bibliospd*. Obtenido de LA FELICIDAD Y LA PEDAGOGÍA DEL AMOR UNIVERSAL DESDE UNA: <https://bibliospd.files.wordpress.com/2016/01/ensayo-felicidad.pdf?fbclid=IwAR267C5LNLfOlnFkuAecXWrmM1A6MGSn84YNj84CngIDAWGZTiQBD8Y90Bc>
- Vennard, J. K. (1947). *Elementary Fluid Mechanics*. New York : WILEY.
- Zuluaga G. , O. L., & Echeverri S. , A. (2003). EL FLORECIMIENTO DE LAS INVESTIGACIONES PEDAGÓGICAS. En O. L. Zuluaga G. , A. Echeverri S. , A. Martinez B. , H. Quiceno C., J. Saenz O. , & A. Alvarez G. , *Pedagogia y Epistemologia* (págs. 73-109). Bogota D.C.: Cooperativa editorial MAGISTERIO.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>CONOCIMIENTO AL SERVICIO DE LA EDUCACIÓN</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación:	Página 5 de 10	

4. Contenidos

El presente trabajo de grado está conformado por siete partes, las cuales son:


Inicialmente se presenta al lector una introducción breve sobre el trabajo de grado, teniendo presente la problemática a desarrollar y algunos trabajos de antesala a éste, un resumen sobre el proceso histórico que el concepto de turbulencia ha tenido y sus respectivos procesos experimentales. Por último, se da a conocer la pregunta de investigación con sus correspondientes objetivos.

El primer capítulo titulado *La vena histórica del conocimiento de los fluidos*, se describe el contexto cultural, las apreciaciones de los diferentes teóricos importantes en la mecánica de fluidos tales como: Leonard Da Vinci, Isaac Newton, Daniel Bernoulli, Johann Bernoulli y Leonhard Euler con respecto a la hidrodinámica. Se toman las consideraciones de Euler como fuente fundamental de indagación sobre los diferentes comportamientos de los fluidos en sistemas dinámicos, dando como resultado, las apreciaciones de los fluidos reales y su matematización propuesta.

El segundo capítulo titulado, *La turbulencia, una componente del mundo natural*, se describe algunas consideraciones tales como: la importancia del análisis de los sistemas dinámicos, el comportamiento de las líneas de flujo cuando se encuentran en un movimiento turbulento y la relación matemática que esta presenta para su comprensión, es pertinente aclarar que estas consideraciones están sujetas a una perspectiva euleriana, dando así, una caracterización de uno de los fenómenos que más se visualiza en el mundo natural como lo es el comportamiento turbulento.

El tercer capítulo, *La turbulencia, a través del monóculo de las máquinas*, se presentan las reflexiones alcanzadas sobre el desarrollo experimental, donde, se presentan específicamente los tres montajes experimentales: Aparato de hilos de agua, Cubeta de líneas de flujo y Canal de corrientes de agua; estos aparatos fueron reparados y restaurados para su óptimo funcionamiento. Gracias a estas prácticas y reflexiones que se fueron dando en el proceso de la recuperación diseñó el manual del canal de corrientes de agua y una estrategia de aula cuyo objetivo es aproximar el concepto de turbulencia por medio de una propuesta de aprendizaje teniendo presente actividades experimentales correspondientes al tema, es válido mencionar, que esta propuesta está diseñada con un enfoque constructivista de la pedagogía experimental.

Por último, se presentan las conclusiones y consideraciones finales del trabajo de grado, teniendo en cuenta, los diferentes ejes trabajados para alcanzar las reflexiones pertinentes sobre el fenómeno de la turbulencia un fluido.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>CONSEJO NACIONAL DE UNIVERSIDADES</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación:	Página 6 de 10	

5. Metodología

En el desarrollo del presente trabajo de grado la metodología para realizar esta investigación de corte conceptual y experimental se centra en el análisis de fuentes primarias e investigaciones enfocadas en la mecánica de fluidos, especialmente sobre el fenómeno de la turbulencia, el cual se orienta a desarrollar el carácter disciplinario y pedagógico del mismo.

Según este orden de ideas, el tipo de investigación que mejor se acopla a la presente investigación del orden cuantitativo desde el ámbito descriptivo experimental, ya que esta se interesa por las condiciones y relaciones existentes de una problemática en particular, por tal razón se tuvieron presente las siguientes fases:

- En un primer momento, se identificó a la turbulencia como foco de interés para la investigación ya que este tópico de la física es tan escurridizo, que, a la fecha, las investigaciones sobre la dinámica de fluidos buscan respuesta sobre este comportamiento.
- En un segundo momento, se toman las fuentes primarias del autor principal de la investigación, generando un análisis de corte conceptual sobre esta problemática sin resolver de la física clásica.
- En un tercer momento, se toma el desarrollo y reparación experimental como elemento investigativo para aproximarse a la interpretación del fenómeno de la turbulencia.
- Por último, se dan a conocer algunas reflexiones sobre este proceso que posibilitan una estrategia de aula para la aproximación teórica y experimental sobre el fenómeno de la turbulencia.

6. Conclusiones


Gracias a los diferentes momentos de investigación propuestos en el presente trabajo de grado, se pueden dar a conocer las diversas reflexiones alcanzadas en cada uno de estos espacios teniendo presente la pregunta desarrolladora de este trabajo la cual es:

¿Cómo se puede evidenciar el fenómeno de la turbulencia a través de la práctica experimental y con ello generar un acercamiento hacia el aprendizaje de la dinámica de fluidos?

Puesto que, los cuatro ejes presentados y desarrollados dan cuenta de la importancia de la turbulencia como temática de aprendizaje en los diferentes espacios académicos, por consiguiente, se presentan los siguientes aportes y reflexiones que suministra este trabajo de grado.


Conclusiones de orden histórico.

- En el presente trabajo de grado se evidencia el papel trascendental que conlleva retomar fuentes primarias tales como: Las memorias de Euler presentadas a la academia de Berlín (1752) y Principia Motus Fluidorum (Euler, 1755), puesto que estas generan una mirada precisa sobre la mecánica de fluidos en específico el movimiento dinámico que tiene un fluido, obteniendo así, apreciaciones relevantes tales como: la clasificación de un fluido (real o ideal), la matematización correspondiente

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>CONSEJO NACIONAL DE UNIVERSIDADES</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación:	Página 7 de 10	

a los casos dinámicos y las reflexiones teóricas sobre el comportamiento de los fluidos, las cuales, fueron cruciales para el desarrollo y descripción del fenómeno de la turbulencia. ya que estas, dan un contexto problemático que el autor trabajo, indago y desarrollo proponiendo una posible solución sobre el comportamiento complejo de los fluidos.


- Gracias a la búsqueda, la recolección del material bibliográfico original, el proceso de traducción que se necesitó para el desarrollo del presente trabajo, aportó a los procesos metacognitivos del investigador al momento de apropiarse de la temática a trabajar, en el este caso la mecánica de fluidos, puesto que la búsqueda y la apropiación de las diferentes reflexiones del autor principal (Euler) brindan herramientas preliminares para futuras investigación en el ámbito histórico crítico.
- Las culturas antiguas ya se preguntaban sobre los diversos comportamientos que podían presentar los fluidos. En el caso de la mecánica de fluidos, eran utilizados estos fenómenos para el manejo y el aprovechamiento del agua, tales como, los canales y acueductos romanos, el sistema de cañerías de riego, entre otros. puesto que estos generaron preguntas, observación y más a los pensadores del momento que se inspiraron para la comprensión de estos fenómenos de la naturaleza
- Uno de los grandes pensadores del renacimiento como lo fue Leonardo Da Vinci fue el primero en datar el comportamiento turbulento que se visualizaba en las cañerías y ríos de la ciudad, donde presenta la composición de este movimiento como fragmentos de remolinos a escala macroscópica y microscópica, es válido mencionar, que este pensamiento fue netamente teórico y que a la fecha se considera erróneo por las contemporáneas investigaciones.
- Grandes pensadores como lo fueron Leonardo Da Vinci, Isaac newton, entre otros, generaron una descripción, de los fluidos por medio de la experiencia sensible, donde presentan, los comportamientos microscópicos corpusculares como modelo principal para la comprensión de los movimientos que pueden llegar a tener las líneas de flujo. Dando así, las primeras apreciaciones teóricas robustas sobre la mecánica de fluidos, por ejemplo: la visualización de los fluidos como medio homogéneo y continuo, la caracterización de la viscosidad como resistencia del movimiento, la caracterización de los estados de los fluidos (líquido y gaseoso), entre otras.
- Leonhard Euler es unos los pensadores que generó un antes y un después en la mecánica de fluidos, gracias a que retoma las diversas apreciaciones y reflexiones de sus antecesores como lo fueron: la explicación de la continuidad y homogeneización de un fluido, el comportamiento corpuscular de los líquidos y gases presentado por Newton, la caracterización del concepto de presión de Daniel Bernoulli, entre otros, para dar cuenta, en formas diferenciales y razonamiento físico, los diversos fenómenos que se pueden estudiar en los fluidos reales, dando así, una aproximación apropiada de los diversos comportamientos de estos dando como resultado diversas inquietudes para el estudio de este tópico de la física.
- La construcción de corte conceptual que se presenta en este documento permite establecer criterios tales como: la importancia de la historia y el contexto para la comprensión de los fenómenos físicos, el asombro y al cuestionamiento como hermanitas importantes para visualizar el mundo natural que

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>CONSEJO NACIONAL DE UNIVERSIDADES</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación:	Página 8 de 10	

posibilitan rutas para la enseñanza de la mecánica de fluidos, tal y como lo hicieron, los autores en su momento.

Conclusiones de orden teórico.

- Leonhard Euler mediante las diferentes apreciaciones teóricas de los medios continuos, las experiencias con la interacción de las turbomáquinas y la rueda de segner, las observaciones de los fluidos reales que se presentan en la naturaleza y las retroalimentaciones de sus colegas como se presentan en las discusiones de D'Alembert (1766) propone una matematización general sobre el comportamiento de los fluidos reales, dando como resultado, la verificación de la ecuación de continuidad en los comportamientos de los fluidos.
- Gracias a las reflexiones de Daniel Bernoulli sobre el concepto de presión, Leonhard Euler retoma esta problemática incompleta y por medio de las matematizaciones y modelos teóricos sobre la partícula fluida propone la versión actual del concepto de presión, la cual simplifica y denota como: relación que tiene la fuerza aplicada en un área transversal.
- El modelo Euleriano de los fluidos proporciona diversas herramientas conceptuales tales como la importancia de las variables de estado para la comprensión del movimiento de los fluidos, la matemática diferencial que tiene con base el cambio que poseen las variables de estado en un movimiento y la relación que conlleva la presión en los movimientos bruscos, dando como resultado una aproximación conceptual de los fenómenos en medios continuos, es válido afirmar, que esta postura nace en el boom newtoniano.
- El comportamiento de los fluidos se puede clasificar mediante una representación de la experiencia sensible del mundo natural, donde se evidencia que estos tienen en su mayoría un comportamiento brusco, éste se caracteriza por tener choques entre sus líneas de flujo, la no linealidad del movimiento y evidencia de múltiples remolinos en su recorrido es válido afirmar, que este fenómeno de la turbulencia es propio de las líneas flujo, mas no, del fluido en sí.
- Al momento de visualizar el comportamiento de los fluidos se puede evidenciar que las variables de estado (Presión, densidad, viscosidad y más...) dan cuenta del comportamiento de un fluido real, es decir, gracias a la varían de estas se puede comprender y hacerse a una idea teórica de que tan turbulento puede tornarse el movimiento del fluido.
- Gracias a las consideraciones y reflexiones propuestas de Euler y otros autores del siglo XVIII se da la pertinente relevancia del comportamiento de los fluidos y se estipula este estudio como rama crucial de la física. Brindando así, investigaciones alrededor de la comprensión de los medios continuos y la aplicación de la hidrodinámica en diferentes campos de las ciencias naturales y la ingeniería.


 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>CONOCIMIENTO AL SERVICIO DE LA SOCIEDAD</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación:	Página 9 de 10	

Conclusiones y consideraciones de orden experimental

- Los diversos montajes experimentales representan una alternativa para el estudio del fenómeno de la turbulencia desde una perspectiva compleja, generando así una aproximación a este fenómeno estudiado y con ello diversos cuestionamientos del ¿Cómo? y el ¿Por qué? del comportamiento de los fluidos en una instancia real.
- Gracias a la reflexión presentada se puede afirmar que los montajes experimentales se pueden considerar como extensión de nuestros sentidos, dando como resultado una interacción más fina con el fenómeno a estudiar, en el este caso, los tres montajes experimentales presentados (Cámara plana, cubeta de líneas de flujo y cabal de corrientes) dan cuenta del movimiento que pueden llegar a tener los fluidos en una instancia real.
- La importancia de la recuperación de los diferentes materiales del departamento de física de la Universidad Pedagógica Nacional que se encuentran en condiciones de abandono. Con ello, se invita al lector al aprovechamiento de las diversas piezas y montajes que se encuentran para el desarrollo de futuras investigaciones con ejes experimentales.
- Al momento de realizar la correspondiente reparación y adaptación de los montajes experimentales se evidencia la complejidad de esta labor, puesto que esta, parte de la incertidumbre y de las diferentes habilidades que tenga el investigador para generar un funcionamiento óptimo de los instrumentos experimentales.
- Cada uno de los montajes experimentales desarrollados en el presente trabajo de grado requieren un trato y un mantenimiento diferente para visualizar el fenómeno a estudiar, ya que cada uno de ellos, tienen una intencionalidad académica diferente, aunque cada uno de ellos converge en la visualización del fenómeno de la turbulencia a diferentes escalas.

Conclusiones de orden didáctico

- El pertinente estudio de los medios continuos y en específico el fenómeno de la turbulencia, en los diferentes espacios y niveles académicos, es necesario. Puesto que esta problemática de la física clásica da cuenta de la representación que los estudiantes y el maestro pueden llegar a tener de su entorno natural y cómo ellos interactúan con éste para poder anclar las diferentes apreciaciones de los fluidos que se encuentran en el mundo natural.
- El uso de las actividades experimentales juega un papel primordial para la construcción de conocimiento, puesto que esta herramienta didáctica brinda el soporte de experiencia sensible sobre el tópico a estudiar de la física, dando como resultado, un acercamiento un poco más fino sobre el fenómeno a trabajar. Por otro lado, se puede afirmar que en el caso de la mecánica de fluidos en específico el fenómeno de la turbulencia, las actividades experimentales favorecen en la aproximación de esta problemática de la mecánica clásica, ya que las concepciones teóricas del

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>CONSEJO NACIONAL DE UNIVERSIDADES</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación:	Página 10 de 10	

<p>comportamiento de los fluidos resultan algo engorrosa al momento de extraer este conocimiento en el aula de clase sin tener presente la experiencia sensible.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las actividades experimentales en el campo de la mecánica de fluidos posibilitan un acercamiento a los diferentes fenómenos de medios continuos, permitiendo así, diferentes niveles de extracción en los estudiantes para la comprensión del mundo natural, en el caso de la turbulencia, se puede evidenciar que favorecen al acercamiento y a la interpretación cuantitativa de este fenómeno de la física. • El desarrollo de la presente estrategia didáctica brinda al investigador generar una estructura metacognitiva de nivel superior, que posibilita, una apropiación coherente y pertinente sobre el fenómeno de la turbulencia, que da como resultado, un manejo óptimo sobre el tópico trabajado y que con ello es capaz de divulgar a participantes o un grupo determinado de estudiantes que se encuentren interesados sobre esta problemática de la mecánica clásica. • Es importante mencionar que el tópico de mecánica de fluidos es necesario llevarlo al aula de clase, dado que brinda herramientas metacognitivas a los estudiantes para que deconstruyan las nociones del comportamiento físico de los cuerpos fluidos al momento que se le aplica una fuerza dada, ya que éstos, tienen un comportamiento diferente con respecto a los sólidos. • Gracias a la propuesta de aula se generan múltiples cuestionamientos tales como ¿Se puede evidenciar el comportamiento turbulento en el mundo natural?, ¿Qué sucedería si soy una gota de agua que está pasando por una turbulencia? ¿Los remolinos y las corrientes de agua se pueden considerar netamente como turbulencia?, ¿La turbulencia puede considerarse como caos?, entre otras, sabiendo que el comportamiento de los fluidos, a la fecha, se siguen estudiando y que gracias a estas preguntas se pueden generar múltiples investigaciones sobre este campo de la física, que, en este momento de la historia, aún se encuentra sin resolver.
--

Elaborado por:	Daniel Cruz Goyeneche
Revisado por:	Yesid Javier Cruz Bonilla

Fecha de elaboración del Resumen:	17	12	2019
--	----	----	------

Tabla de contenido

Introducción.....	i
Objetivo General	v
Objetivos Específicos.....	v
1. Capítulo I La vena histórica de los fluidos.....	1
1.1. Una línea de flujo desmarañada en la cronología.....	1
1.1.1. La turbulencia, un misterio en las culturas antiguas.....	1
1.1.2. El renacimiento como punto de partida teórico sobre la turbulencia	2
1.1.3. Newton, una mirada corpuscular de la mecánica de fluidos	4
1.1.4. Los fluidos, una mirada de los Bernoulli	6
1.2. Euler, una gota en el mar del conocimiento del siglo XVIII	7
1.2.1. Euler, una mirada estática de los fluidos.....	8
1.2.2. La dinámica, una componente del comportamiento de los fluidos	9
2. Capítulo II: La turbulencia, una componente del mundo natural	21
3. Capítulo III: La turbulencia, a través del monóculo de las máquinas	28
3.1. El experimento como extensión de sensaciones en la física	28
3.2. La turbulencia, un fragmento del comportamiento de los fluidos por medio de las máquinas	33
3.3. Propuesta de aula: La turbulencia a través de las líneas del sentir.....	46
4. Capítulo IV Conclusiones	48
4.1. Conclusiones de orden histórico.....	48
4.2. Conclusiones de orden teórico.	50
4.3. Conclusiones y consideraciones de orden experimental	51
4.4. Conclusiones de orden didáctico.....	52
5. Referencias bibliográficas.....	54
6. Anexos	56
6.1. Anexo 1. Biografía Leonhard Euler: La vida y la experiencia de un mundo matemático	56
6.2. Anexo 2: Ponencia Euler, una gota en el mar de la historia.....	66
6.3. Anexo 3: Diario de reparación de los montajes	73
6.3.1. Cubeta de líneas de flujo.	73
6.3.2. Aparato de hilos de corriente según el profesor Pohl (Cámara plana)	79
6.3.3. Canal de corriente.....	83
6.4. Anexo 4: Manual del canal de corrientes de la marca LEYBOLD	108
6.5. Anexo 5: Estrategia didáctica La turbulencia a través de las líneas del sentir	113

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1. Ilustraciones de comportamiento de agua realizadas por Leonardo Da Vinci.....	4
Ilustración 2 Comportamiento de los corpúsculos al momento de chocar con un cuerpo y entre ellos.	5
Ilustración 3 Tubo de flujo para el desarrollo de la ecuación de Bernoulli.	7
Ilustración 4 Diagrama de fuerza de una partícula fluida.	9
Ilustración 5 Paralelepípedo propuesto por Euler.....	11
Ilustración 6 Deformación de un fluido por una fuerza externa.	13
Ilustración 7 Comportamiento de las partículas fluidas sobre las líneas de flujo.	14
Ilustración 8 Ilustración de un flujo ideal.	15
Ilustración 9 Ilustración rueda de Segner.	20
Ilustración 10 Representación gráfica de los diferentes regímenes de las líneas de flujo	23
Ilustración 11 Comportamiento del caudal de un río (Foto del río Cune, Villeta, Cundinamarca). 24	
Ilustración 12 Fotografía del comportamiento de las líneas de flujo.....	26
Ilustración 13 Montaje experimental de Reynolds.	28
Ilustración 14 Fotografía aparatos de hilos de agua.	34
Ilustración 15 Esquema del aparato de hilos de agua.	35
Ilustración 16 Esquema de la cubeta de líneas de flujo.	38
Ilustración 17 Fotografía de la cubeta de líneas de flujo.	39
Ilustración 18 Esquema del canal de corrientes de agua.	42
Ilustración 19 Fotografía del canal de corrientes.....	43
Ilustración 20 Primer esquema del canal de corrientes.....	45

Tabla de tablas

Tabla 1 Cuadro comparativo entre flujo laminar y turbulento.	25
--	----

Tabla de diagramas

Diagrama 1 Diagrama unidad didáctica.....	47
--	----

Introducción

La humanidad al momento de realizar diversas visualizaciones de su entorno genera la necesidad de comprender numerosas componentes físicas que se presentan en el mundo natural, uno de los casos particulares de este no lo presentan Briggs Y Peat (1994), sobre la admiración del comportamiento de los fluidos en la realidad (p.79), en el presente documento, se escoge el estudio de la turbulencia como evento físico que posibilita un acercamiento a la comprensión del movimiento de los fluidos, puesto que con este, se llega a desarrollar diversas reflexiones del comportamiento de estos teniendo presente las diferentes reflexiones de Leonhard Euler en el ámbito de la mecánica de fluidos.

Teniendo presente lo anterior en este trabajo de grado dará a conocer una aproximación conceptual sobre la hidrodinámica para reflexionar sobre el fenómeno de la turbulencia, con ello, evidenciar el papel que juega la turbulencia en los sistemas dinámicos, por otra parte, se presentan instrumentos experimentales enfocados en la visualización de este fenómeno trabajado y por último, una propuesta de aula que posibilite la aproximación conceptual de la turbulencia con un enfoque constructivista de la pedagogía experimental. cabe aclarar que en el presente trabajo no se generará una implementación de esta última.

Para el desarrollo del presente trabajo se toma de antemano diferentes autores que muestran previamente sus trabajos que abordan algunos aspectos sobre la turbulencia, es el caso de la investigación titulada “Análisis Conceptual de la Dinámica de Fluidos: Fenómenos de Vorticidad y Vórtices” (Gómez, 2005) el cual aporta diversas reflexiones sobre la concepción de vorticidad y el efecto del vórtice, evidenciando cómo se manifiesta la turbulencia en un instante determinado en un medio continuo. Consecuentemente el trabajo titulado “La turbulencia, un fluido irregular y complejo” (Ávila, 2006) aporta la primera aproximación dada al trabajo de investigación, donde se evidencia la relación de la práctica experimental y el análisis matemático planteado por Navier-Stokes sobre la turbulencia, por último, en el trabajo titulado “Análisis conceptual en la mecánica de fluidos: Las líneas de flujo como concepto organizador.” (Chitiva, 2013). Este trabajo muestra la importancia de comprender las líneas de flujo al momento de generar la relación que tiene con la turbulencia.

En el ámbito pedagógico se encontraron los siguientes trabajos. En primer lugar, el trabajo titulado “Estrategias para favorecer el aprendizaje significativo de la dinámica de fluidos en los estudiantes del grado décimo del Colegio Madre Elisa Roncallo” (Ruiz Bautista, 2015) el cual, propone diversas actividades experimentales, para generar un aprendizaje significativo y la importancia de la mecánica de fluidos en los conceptos primarios tales como presión, gases, líquido, área, el principio de pascal. También el artículo “Los Sistemas Dinámicos: una Perspectiva contemporánea para la enseñanza de la física.” (Chaparro, Méndez, Pedreros, & Sastoque, 2001) posee un apartado exclusivo sobre el fenómeno de vorticidad y vórtice enfocado en la conceptualización de movimientos turbulentos, donde, comentan que los tópicos de abstracciones y bifurcaciones son temas cruciales para la aproximación de los diferentes movimientos que se encuentran en un fluido, también dan a conocer que estas temáticas se pueden llevar al aula de clase regular con el material adecuado.

Ahora bien, en el estudio de los medios continuos aparece un fenómeno en particular considerado como turbulencia, puesto que éste, al momento de analizar su comportamiento bajo ciertas circunstancias aproximadas a la realidad, desencadenan diversos inconvenientes tales como la deficiencia o interferencia de la señal radial, el movimiento brusco en un navío, las corrientes de aire al elevar una cometa, entre otros. Puesto que estos movimientos son complejos al momento de analizarlos, por esta razón se puede afirmar que la turbulencia tiene una variación en cada una de sus variables de estado, es decir, que estas se ven involucradas cuando se tiene un grado de libertad en el mundo natural o son alteradas para evidenciar este fenómeno.

Es importante resaltar, que las leyes de la turbulencia han sido elusivas. Nos presentan Herrera y Conde (2001) que la gran mayoría de los progresos hasta ahora se relacionan con la descripción y comprensión de algunas de las rutas que conducen a este fenómeno¹ (p.30)

Un espacio para comenzar a comprender y visualizar la turbulencia es un río que fluye lentamente. Ya que este lugar nos permite evidenciar cómo el agua se puede encontrar con diferentes obstáculos que redireccionan su recorrido original, por ejemplo: si nosotros

¹ Se considera al fenómeno como: la percepción del mundo natural mediante la organización de la experiencia delimitada por nuestros sentidos, considerándolo como una realidad subjetiva. (Ayala M., 2006)

agregamos unas cuantas gotas de tinta en el río podemos evidenciar el recorrido de algunas líneas de flujo que tienen debido al comportamiento del agua, evidenciando así, remolinos, variaciones y estados estacionarios de estas. Es válido mencionar, que las variaciones son netamente complejas al momento de desarrollar la oportuna matematización, puesto que la cantidad de variables que se tienen no permiten una solución exacta del fenómeno, es así, como hasta el momento se encuentran únicamente soluciones analíticas de este comportamiento de las líneas de flujo.

Si realizamos un barrido histórico sobre la turbulencia encontramos sus primeras dataciones en el renacimiento; las cuales se pueden interpretar como las primeras teorizaciones de este fenómeno puesto que se preguntaban sobre este comportamiento de los fluidos, uno de ellos fue Leonardo Da Vinci, una de las mentes más brillantes de la humanidad, el cual se vio admirado al observar diversos remolinos en los acueductos y cañerías de la ciudad. De igual forma en el siglo XIX, García (2016) afirma que diversos científicos, tales como Lord Kelvin, Von Helmholtz, Lord Raleigh, entre otros; les resulta atractiva la interpretación analítica de la turbulencia (p.4), ya que desarrollaron diversos montajes experimentales para poder aproximarse a modelar este efecto y con ello aportaron diferentes reflexiones tales como: la aproximación del mundo como un sistema homogéneo, la importancia de los cambios térmicos sobre los medios continuos, entre otras, por tanto, la mecánica de medios continuos y en específico el fenómeno de la turbulencia continuó siendo un campo muy subvalorado e ignorado para la física en el siglo XVI. Por otra parte, Briggs. J (1994) da a conocer que este tema resultaba impenetrable para la ciencia, pero, poco a poco se convirtió en uno de los campos más importantes de la investigación este afirma que:

El interés en sistemas con tantos grados de libertad y una dinámica tan compleja se debe en parte a la serie de nuevas y sofisticadas sondas que permiten examinar un acontecimiento turbulento y con ello recoger datos de lo que está ocurriendo allí. (Briggs y Peat, 1994, p. 49)

En la actualidad, este atractivo ha llegado a los diferentes campos de la física, por ejemplo, en la construcción de instrumentos o aparatos experimentales para cuantificar qué tan turbulento se encuentra un fluido, es válido mencionar, que estas propuestas son casi nulas en solucionar esta problemática de la mecánica clásica. De acuerdo con las

investigaciones realizadas por el grupo de modelado y control de sistemas lineales y no lineales de la UDELAR (Universidad de la República de Uruguay) en específico del doctorado en ingeniería en física de fluidos aplicada, existen diversos factores que, hoy en día, aún no se han podido solucionar, lo que ocasiona resultados fallidos de los prototipos experimentales. Sin embargo, al momento de buscar prácticas donde se puede evidenciar a una escala más pequeña, es posible encontrar gran diversidad de montajes tales como: cámaras planas, cubetas de turbulencia, montajes artesanales, y demás. Permitiendo así construir algunos conceptos que reconozcan la validez y pertinencia de las prácticas experimentales en la enseñanza de la dinámica de fluidos en los diferentes espacios académicos.

Cuando nos preguntamos sobre la importancia de este fenómeno, como lo es la turbulencia, en un aula regular de clases encontramos que la academia ha centrado sus esfuerzos en suministrar diversas teorías físicas a los estudiantes, aislando por completo la comprensión de sus vivencias, olvidando así, la importancia de la actividad científica al reconocer nuestro entorno, puesto que si observamos y comprendemos nuestro mundo natural podemos reconocer la experiencia científica en la cotidianidad. González (2017) afirma que:

Hay que construir los conceptos a partir de sus ideas previas, mejorando su intuición y enseñando a inferir lógicamente en el proceso, hasta el punto de que pueda utilizar estos conceptos para modelar y predecir situaciones de su vida cotidiana (González, 2017, p. 10)

De igual forma Parra (2013) menciona que esta problemática de la física clásica al momento de abordarla en diferentes espacios académicos la comprensión del fenómeno resulta algo engorrosa e insuficiente (p.34); mostrando así, la importancia de estudiar aquellas reflexiones y aportes expresados por diferentes autores tales como: Leonhard Euler (1707-1783), Osborne Reynolds (1842-1912), Lev Landau (1908-1968), entre otros; para generar una aproximación sobre este concepto.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo se puede evidenciar el fenómeno de la turbulencia a través de la práctica experimental y con ello generar un acercamiento hacia el aprendizaje de la dinámica de fluidos?

Dada esta pregunta de investigación, se dan a conocer el objetivo general y los objetivos específicos que se tienen presentes en el desarrollo del documento.

Objetivo General

Abordar el concepto de turbulencia a través de la conceptualización teórica, el desarrollo aritmético y la actividad experimental de manera que posibilite aproximar el fenómeno y al mismo tiempo la importancia de este para la enseñanza de la física.

Objetivos Específicos

- Desarrollar un proceso histórico sobre la hidrodinámica teniendo presente el concepto de turbulencia.
- Formalizar el concepto de turbulencia desde la mirada Euleriana.
- Reparar y reconstruir diferentes artefactos experimentales que permitan visualizar el fenómeno de la turbulencia.
- Crear una propuesta de aula basada en los prototipos experimentales, que permitan la indagación y acercamiento al fenómeno de la turbulencia.

1. Capítulo I La vena histórica de los fluidos

1.1. Una línea de flujo desmarañada en la cronología

El estudio del movimiento nos permite distinguir una propuesta de la visualización del mundo natural, la cual, Herrera y Conde (2001) presentan que, la relación de los cuerpos es independiente del espacio que interactúa entre ellos, considerando que los cuerpos son autónomos entre sí (p.29). Es decir, que la interacción entre ellos es autónoma y que uno no altera al otro. Gracias a este pensamiento se evidencia esta concepción del mundo natural que da origen a las reflexiones sobre la mecánica de lo discreto.

Cuando nos centramos a estudiar el comportamiento de la mecánica continua encontramos una entramada histórica que se fue desarrollando con las distintas apreciaciones sobre la mecánica de fluidos la cual dio paso en los siglos XVI al XIX; cabe aclarar que este proceso en la actualidad continua. Es válido mencionar que antes de este periodo histórico las civilizaciones antiguas tenían conocimientos vagos del comportamiento de los fluidos, afirma García (2016) que Las civilizaciones antiguas diseñaban soluciones rudimentarias, pero suficientes para resolver algunas problemáticas. Por ejemplo: La navegación a vela, el comportamiento de los ríos, el traspaso de sustancias de un lugar a otro, y más actividades (P.3) con ello estas culturas se beneficiaron del comportamiento del mar, entre otros.

1.1.1. La turbulencia, un misterio en las culturas antiguas

En el estudio del movimiento turbulento o brusco afirma García (2016) que se puede llegar a evidenciar, un primer momento, en los tiempos de la cultura griega antigua (p.7); de igual forma, resalta Bravo (2015) que esta civilización se dedicó al comercio marítimo, ya que, para los hombres de las civilizaciones tempranas, el mar era sinónimo de misterio y peligro (p.22), esto se puede evidenciar, en sus memorias, cuentos, poemas y más donde presentan a la turbulencia como el terror de un marino cuando se acecha en el mar. Poco a poco el comportamiento del agua generó una importancia como vía hacia el conocimiento, afirma García (2016) que ellos fueron los primeros en preocuparse por la cuantificación de estas vivencias (p.15), es válido mencionar, que hasta el momento no existe ningún registro

donde se encuentre datadas estas visualizaciones y problemáticas claramente. El caso de *Arquímedes* (288 a.C. – 212 a.C.), quien fue el principal exponente griego al pensar esta corriente del conocimiento, nos menciona Herrera y Conde (2001) que al momento de formuló las leyes de la flotabilidad, tomó presente este comportamiento brusco como una variación directa del agua posibilitando y desarrollando diversas aplicaciones a cuerpos sumergidos.

Otro claro ejemplo de las civilizaciones antiguas presentan analogías sobre el comportamiento turbulento fue la Romana, García (2016) presenta que en la contricción de sus diferentes acueductos una de las principales preocupaciones era contener por completo la totalidad del fluido sin que se generará una vertiente fuerte con remolinos (P.9), puesto que para los romanos una de sus preocupaciones con mayor relevancia era la higiene de sus agrupaciones urbanas, es así como sus ingenieros y pensadores dan relevancia a este estudio del movimiento de los fluidos donde sus reflexiones dan cuenta de la velocidad que puede llegar a tener el agua y como los choques entre ellas generan remolinos al instante que desaguan las diferentes cañerías.

Es válido mencionar que ninguna de las dos dataciones presentadas anteriormente no dio un significado conciso sobre la turbulencia, en la cual, la utilizaron como herramienta para referirse a los misterios sobre los fluidos.

1.1.2. El renacimiento como punto de partida teórico sobre la turbulencia

A mediados del siglo XVI (Renacimiento Europeo), Vuelven los pensamientos sobre el comportamiento del agua y su utilidad en la vida cotidiana, afirman Fraile (2015) que múltiples estructuras fueron mejoradas o pensadas como herramientas diarias, tales como: canales de agua para siembra, acueductos, barcos, entre otras. Dando así, mejoras sustanciales en el diseño y su funcionalidad. según el estudio **“El agua como factor antropológico primordial en los cuidados históricos: Higiene, eliminación, alimentación y terapia en el mundo Romano”** (Fraile, 2015) muestra que el diseño o las construcciones teóricas no fueron datados y la poca información de estas estructuras están en sus ilustraciones o memorias que se han perdido en el tiempo.

Una de las mentes más grandes de la humanidad, como lo fue Leonardo Da Vinci (1452-1519), ya se cuestionaba sobre el comportamiento de los fluidos; presentan Briggs y Peat (1994) que, en él, produjo incontable asombro al observar el flujo del agua en las cañerías y la fuerza erosionante que producía la rapidez de dicho flujo y esto, lo dejó plasmado en algunas ilustraciones que el realizaba (p.47) (Ver ilustración 1). Por otro lado, se puede mencionar que “Obtuvo una ecuación de continuidad para flujos unidimensionales. Puesto que él fue un excelente experimentalista y en sus notas dejó descripciones muy reales sobre chorros, alas, resalto hidráulico, formación de torbellinos y diseños de cuerpos de baja y alta resistencia” (Briggs y Peat, 1994, p.45)

Leonardo Da Vinci fue el primero en estudiar los grandes misterios que se escondían a través de las cañerías tales, afirma Truesdell (1975) que estos misterios eran: el comportamiento del agua, la conformación de los remolinos dentro de las cañerías, entre otras, (P.78) es así como en uno de sus momentos de ocio observa el comportamiento descrito en las cañerías también en un río, el cual, bautiza este comportamiento inexplicable como complejo, es válido mencionar, que él fue el primero en describir este comportamiento al momento de analizar los movimientos de los grandes y pequeños torbellinos, lo cual, lo describía de la siguiente manera:

De las cosas que se lleva el agua, girarán más rápidamente aquellas de Tamaño menor. Esto ocurre porque los remolinos grandes rara vez aparecen en los cursos de los ríos, y en cambio, los (remolinos) pequeños son casi innumerables, y los objetos grandes giran tan sólo en los grandes remolinos y no en los pequeños, y los cuerpos pequeños dan vueltas tanto en los pequeños como en los grandes. (Truesdell, C., 1975, P 78)

Aunque sus rozamientos son netamente teóricos e incorrectos, lo más importante es el hecho experimental que jugó la observación para la descripción de este fenómeno físico. Este comportamiento y reflexión lo podemos visualizar mejor en la imagen número uno, la cual fue diseñada por Leonardo en sus explicaciones correspondientes a este comportamiento del mundo natural.

Estas reflexiones alcanzadas por Leonardo se convertirían en parte fundamental al diseñar sus máquinas, considerando que estas, se verían involucradas en los medios continuos

dando como resultado el desarrollo cuantitativo a este pensamiento que en un futuro será el pilar de los conceptos de turbulencia.



Ilustración 1. Ilustraciones de comportamiento de agua realizadas por Leonardo Da Vinci.

Fuente: <https://www.fundacionaquae.org/wiki-aquae/leonardo-da-vinci-y-el-estudio-del-flujo-del-agua/>

1.1.3. Newton, una mirada corpuscular de la mecánica de fluidos

En el siglo XVIII, uno de los autores más relevantes para la física es Sir Isaac Newton (1642-1727), quien resalta García que “Propuso las leyes generales del movimiento y la luz de resistencia viscosa lineal para los fluidos que hoy denominamos newtonianos.” (García, 2016, p.14) dando como resultado la importancia de los medios continuos en la comprensión de fenómenos físicos. Este pensamiento, se ve reflejado en la aceleración, dado que esta, es fundamental al momento de observar y estudiar la Mecánica de Fluidos, donde se evidencia con más claridad la segunda ley² propuesta por él.

Cuando Newton se encarga de estudiar y comprender el mundo de los fluidos, afirma Liñán (2009) que este se distinguió en dos estados diferentes los cuales son: líquido y gaseoso

² La SEGUNDA LEY DE NEWTON determina que, si se aplica una fuerza a un cuerpo, éste se acelera. La aceleración se produce en la misma dirección que la fuerza aplicada y es inversamente proporcional a la masa del cuerpo que se mueve. (Dugas , 1988)

(p.153). Es importante aclarar que Newton supone que estos últimos están estructurados por corpúsculos, que no interactúan entre ellos, pero sí, con los cuerpos que interactúan con el gas. Estas partículas, chocan con la superficie de los cuerpos y con ello mantienen su componente de velocidad tangencial relativa al cuerpo, para así tener una compensación la cual es la componente normal de este. Newton nos propone dos diferentes hipótesis las cuales son: “En un primer caso supone que después de la colisión la componente normal al sólido de la velocidad relativa de las partículas simplemente cambia de signo, mientras que con la segunda hipótesis esta componente se anula.” (Liñán, 2009, p.153) es decir, ambos pensamientos se pueden justificar en el régimen molecular libre por ejemplo el aire que rodea un cuerpo, para visualizar mejor esta idea ver la siguiente imagen.

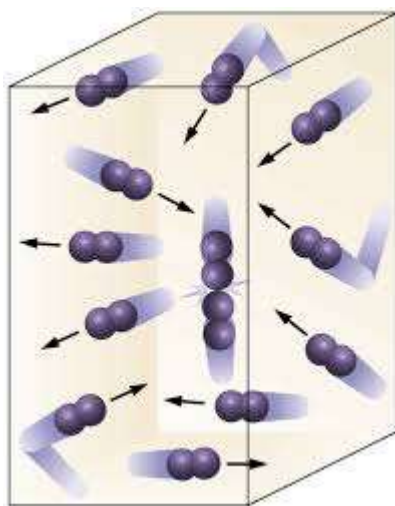


Ilustración 2 Comportamiento de los corpúsculos al momento de chocar con un cuerpo y entre ellos.

Fuente: <http://lachuspaquimica.blogspot.com/2011/05/teoría-cinetica-molecular-gases.html>

Cuando Newton analiza la dinámica de los medios continuos y entre ellos el comportamiento brusco de los fluidos da a conocer que los corpúsculos tienen fuerzas de interacción entre los cuerpos que lo forman, ya que estos, le proporcionan una cohesión que determina qué tan dinámico se puede encontrar el sistema. También Dugas (1988) aclara que Newton propuso el estudio de la resistencia de un líquido sobre un cuerpo (p.253), y está, deducida por su teoría del movimiento en gases, donde nos menciona que es proporcional a la sección exterior del cuerpo y con ello la relación entre la densidad del fluido con el cuadro

de la velocidad relativa de éste; cabe aclarar que él presenta un coeficiente de proporcionalidad, de un orden unitario, que con lleva a determinarse en el instante experimental.

1.1.4. Los fluidos, una mirada de los Bernoulli

Los aportes de la dinámica de fluidos desde Newton incluyen las importantes contribuciones de Daniel Bernoulli (1700-1782) y su padre Johann Bernoulli (1667-1748), aunque ellos teniendo otro punto de vista de la mecánica de fluidos conlleva al siguiente punto de la comprensión de la mecánica de fluidos, afirma Liñán (2009) que Daniel fue el primero, en intentar encontrar la relación entre la presión y el movimiento de los fluidos (p,154), teniendo presente trabajos anteriores de su padre y de Pascal, entendiendo que la fuerza ejercida, por unidad de área, en una cara del recipiente que contiene el fluido es considerado como presión, esta se encuentra relacionada con la cantidad de solución que tenga sobre la superficie (*Columna de fluido*) y será orientada debido a las fuerzas gravitatorias.

Los análisis realizados acerca de la Hidrodinámica y la Hidrostática de los Bernoulli se entran ligadas a la representación macroscópica de la mecánica de fluidos. afirma Dugas (1988) y ratifica Liñán (2017) que estos se refieren a los flujos en conductos que podemos encontrar en las cañerías, por medio de la hipótesis del movimiento unidimensional, en la cual su velocidad sería uniforme en cada segmento transversal del conducto (Observar ilustración 3). El resultado de esta relación para el movimiento de un fluido estaría dado por el momento estacionario de un líquido en un conducto, el cual está afectado por las fuerzas gravitatorias, dando como resultado la siguiente ecuación (Ecuación 1).

$$\frac{p_2}{(\rho_1 g)} + \frac{v^2}{(2g)} + z = H_0 \quad \text{[Ecuación 1]}$$

Donde: p_1 es la presión ejercida en la sección transversal en el punto uno, p_2 es la presión ejercida en la sección transversal en el punto dos, v es la velocidad en la cual el fluido está

recorriendo el tubo, g es la aceleración de la gravedad, z una constante de error del montaje y H_0 es la diferencia entre la altura inicial y final.

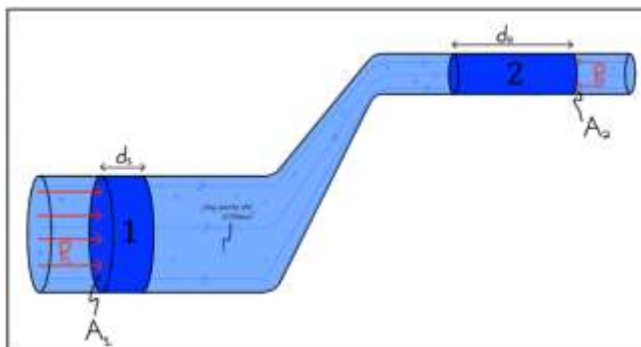


Ilustración 3 Tubo de flujo para el desarrollo de la ecuación de Bernoulli.

Fuente: <https://es.khanacademy.org/science/physics/fluids/fluid-dynamics/a/what-is-bernoullis-equation>

Gracias a estos aportes entraremos a hablar de uno de los autores con mayor relevancia en el siglo XVIII, el cual tomó las consideraciones y descripciones de Leonardo Da Vinci, la representación corpuscular de un fluido Isaac Newton y la concepción microscópica de los medios continuos presentada por Johann Bernoulli y Daniel Bernoulli, sobre la mecánica de fluidos, el cual es: Leonhard Euler que gracias a estas interpretaciones conllevan a desarrollar y mejorar las concepciones matemáticas y físicas de fluidos.

1.2. Euler, una gota en el mar del conocimiento del siglo XVIII ³

En la construcción de conocimiento del mundo natural encontramos gran parte de múltiples componentes que conforman nuestro entorno, no obstante, cuando observamos esté, se presenta una de las ramas del conocimiento de la física que ha sido utilizada por otras áreas del saber para la construcción de reflexiones y explicaciones de la naturaleza, la cual es, la mecánica de fluidos. Esta concepción del mundo nos presenta Ávila (2006) que

³ Gracias a las reflexiones alcanzadas de este capítulo se presenta la ponencia Euler una gota en el mar de la historia en el XXII semana de la enseñanza de la física de la Universidad distrital, este documento se encuentra en los anexos del documento.

los diferentes aportes, a nivel conceptual y a nivel experimental en la actualidad son suficientes para darnos una mirada preliminar de los efectos de los fluidos en nuestro entorno (p.4). En la historia existen grandes momentos para comprender los fenómenos de medios continuos, pero nos detendremos en uno de los autores que en el siglo XVIII desarrolló una mirada fundamental para comprender la importancia de los fluidos, *Leonhard Euler* (1707-1783)⁴.

Al momento de valorar los diferentes aportes de Euler a la ciencia, nos encontramos con sus análisis y construcciones aritméticas que apoyan a un gran campo escurridizo del conocimiento, puesto que sus apreciaciones fueron lo suficientemente fuertes para estructurar un poco más el campo de la física. Afirma Liñán (2009) que este gran autor fue quien presentó como utilizar la segunda ley de Newton para determinar la aceleración de un cuerpo (p.159), cabe aclarar, que éste lo desarrolla para masas puntuales, en consecuencia, presenta la construcción de sus reflexiones teniendo presente el campo de la mecánica de fluidos.

Ahora bien, podemos afirmar que, el objeto de estudio de la mecánica de fluidos según Euler, son los fluidos (soluciones y gases) el cual, el define como una sustancia que es capaz de deformarse continuamente, o sea, se escurre cuando es sometida a una esfuerzo cortante o tangencial a la superficie. Por otro lado, Chitiva (2013) nos afirma que: los gases tienen una acotación puesto que estos se consideran fluidos a una velocidad menor a 50 km/h (p. 27). Los fluidos según Euler están compuestos por elementos diminutos (*partículas fluidas*) y con ello, se generan múltiples capas de fluido, las cuales se mueven entre sí.

1.2.1. Euler, una mirada estática de los fluidos

Consecuentemente, encontraremos una de las primeras propuestas desarrolladas por Euler en 1752 entregado a la academia de Berlín, la cual, presenta el estado de equilibrio de un fluido, este se puede considerar como un sistema comprensible o no, que podía ser sometido a una fuerza dada. La problemática que aborda este gran pensador se relacionaba con el estado de un fluido estático. nos presenta Dugas que “La fuerza que actúa sobre todo

⁴ Biografía de Leonhard Euler (Anexos).

el fluido conlleva una relación en cada punto entre la densidad y la elasticidad del fluido”⁵ (Dugas, 1998, p.300), igualmente Euler pretendía encontrar las presiones que se tienen en un instante determinado en una gota, cabe aclarar que las reflexiones sobre la fuerza ejercida por una columna de fluido presentada por sus colegas Bernoullis fueron claves en la construcción de esta reflexión. por ende, Euler (1752) denomina un único punto del fluido como unidad mínima de masa para su estudio, dado que esta consideración facilita la comprensión del concepto de presión propuesto por Daniel Bernoulli.

Afirma Liñán (2009) que en 1752 aparece por primera vez la reflexión actual del concepto de presión (p.159), donde Euler considera que es la relación que existe entre la fuerza perpendicular aplicada en un área determinada de la masa puntual. En otras palabras, un estado de equilibrio se puede considerar cuando la presión es igual a cero, por consiguiente, la sumatoria de fuerzas alrededor de la unidad de fluido es cero. Para visualizar mejor esta idea ver imagen cuatro.

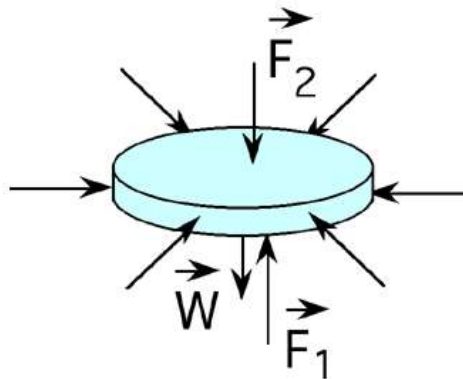


Ilustración 4 Diagrama de fuerza de una partícula fluida.

Fuente: <http://webdelprofesor.ula.ve/ciencias/paniagua/Física20/Fluidos/EstaticaFluidos/UnidadesBasicas/VariacionPresion/DesarrolloVariacionPresion/DesarrolloVariacionPresion.htm>

1.2.2. La dinámica, una componente del comportamiento de los fluidos

⁵ Fragmento original “The Force which act on all the elements so the fluid being give, together with the relation which exists at each point between the density and the elasticity of the fluid”

Según lo anterior, Dugas (1988) Menciona que Euler plantea esta concepción para el desarrollo de los principios generales del movimiento de fluidos ideales incompresibles en 1755 en su memoria *Principia Motus Fluidorum* (Euler, 1755), donde utiliza referencias cartesianas para sus componentes de velocidad, en función de un tiempo t determinado, las cuales son x, y, z . Gracias a las consideraciones del movimiento genera la necesidad de calcular la presión p un punto determinado, con la cual, las partículas del fluido interactúan mutuamente entre ellas, Afirma Liñán (2009) que esta presión no es la misma en todas las partes (p.160), por consecuencia la acción de estas partículas se traduciría en el cambio del movimiento, a esta consideración del movimiento se denomina Euleriana, aunque la propuesta por Lagrange sobre el movimiento, fue también introducida por Euler, él consideraba que la posición de cada partícula fluida sustituye la velocidad como variable cinemática independiente y esta está dada en función del tiempo en sus tres coordenadas x_0, y_0, z_0 que caracterizan su posición inicial. Pero en este caso tomaremos la primera consideración.

Teniendo en cuenta el punto anterior Euler (1755) propone un paralelepípedo rectangular elemental, con un saliente en el punto Z , de coordenadas x, y, z con aristas dx, dy y dz , observar ilustración cuatro. Afirma Liñán (2009) que esta consideración jugó un papel fundamental en la restricción que posibilita la incompresibilidad del fluido que aplica al movimiento (p. 168). Dugas (1988), por otra parte, menciona que Euler afirma que cualquier parte del fluido no puede ser forzada a ocupar un volumen menor, por ende, su continuidad no puede ser interrumpida llegando así a la ecuación de continuidad (Ecuación dos), donde u, v, w son las componentes de la velocidad de una partícula fluida.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \text{[Ecuación 2]}$$

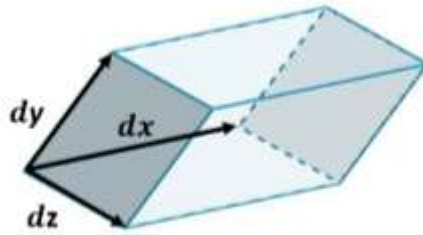


Ilustración 5 Paralelepípedo propuesto por Euler

Fuente: Fuente Propia

Ahora, si la presión es desconocida en el punto Z , se puede afirmar que la presión dp está dada por las componentes de presión en un punto determinado del espacio del fluido. donde tomaremos L , M y N como componentes de dp en un punto (x_1, y_1, z_1) consecuentemente, si consideramos que el área afectada es unitaria podemos decir que la presión en el punto Z está dado por la ecuación tres.

$$dp = Ldx + Mdy + Ndz \quad \text{[Ecuación 3]}$$

Gracias al análisis geométrico realizado por Euler (1752), se puede decir que $L = Dq$, $M = Qq$ y $N = Rq$. Donde q es la densidad de la solución y D , Q y R son las componentes del peso del fluido. De esta manera, si consideramos que L , M y N son las derivadas parciales de una función $p(x, y, z)$ se requiere la siguiente condición (Ecuación cuatro).

$$\frac{\partial(Dq)}{\partial y} = \frac{\partial(Qq)}{\partial x} ; \quad \frac{\partial(Qq)}{\partial z} = \frac{\partial(Rq)}{\partial y} ; \quad \frac{\partial(Rq)}{\partial x} = \frac{\partial(Dq)}{\partial z} \quad \text{[Ecuación 4]}$$

Ahora, si P es una función dada por q nos quedaría (Ecuación cinco):

$$dP = q(D + Q + R) \quad \text{[Ecuación 5]}$$

Según lo anterior, se puede afirmar que esta diferencia representa el esfuerzo o la eficacia de la fuerza dada. Afirma Dugas que “Esta fue una de las nociones que Euler utilizó en el caso de las fuerzas centrales, dando así, una conclusión general de del equilibrio propuesta por Euler la cual se presenta en la ecuación seis.

$$\frac{dP}{q} = Ddx + Qdy + Rdz \quad \text{[Ecuación 6]}$$

Retomando las apreciaciones de Euler (1755) y Vennard (1947), afirman que las fuerzas D, Q, R deben ser iguales a la forma diferencial $Ddx + Qdy + Rdz$, las cuales se vuelven integrables cuando la densidad q es constante o únicamente depende de la elasticidad P , o se vuelve integrable cuando multiplicó por alguna otra función. Dugas (1988) ratifica, que Euler no se refería a la ecuación de Clairaut⁶ en específico, Sino que, este fue capaz de generalizar al momento de aplicarla al principio propuesto.

Después de esta problemática Euler desarrolla una de las preguntas que marcarían un antes y un después en el estudio de la mecánica de fluidos, en la cual relaciona el comportamiento de los fluidos fuera de su apreciación estática y a esta reflexión la considera como la ecuación general de la hidrodinámica.

El papel fundamental de Euler sobre las ecuaciones de la hidrodinámica es fundamental. Afirma Dugas “Tan perfecto es este papel que aún con el paso del tiempo no envejece”⁷ (Dugas, 1998, p.301), puesto que, hasta el mismo Euler (1755) afirmó que "Espero tener éxito al final, de modo que si persisten las dificultades no estarán en el campo de la mecánica, sino enteramente en el campo del análisis.”⁸ (Euler,1752, p.301).

Teniendo presente lo anterior, Euler (1755) da a conocer algunas de las reflexiones que se presentan en el estudio de la dinámica de fluidos. Con esto, si se aplica una fuerza

⁶ La ecuación de Clairaut. donde $g(x)$ es una función continuamente diferenciable. El interés que presenta este tipo de ecuación se debe al hecho de que tiene como solución a una familia de rectas (Vennard, 1947)

⁷ Fragmento original So perfect is this paper that not a line has aged

⁸ " I hope to emerge successful at the end, so that if difficulties remain they will not be in the field of mechanics, but entirely in the field of análisis"

tangencial el estado del fluido cambiaría deformándolo y variando su posición de equilibrio, para ilustrar un poco mejor esta idea observar la imagen número seis.

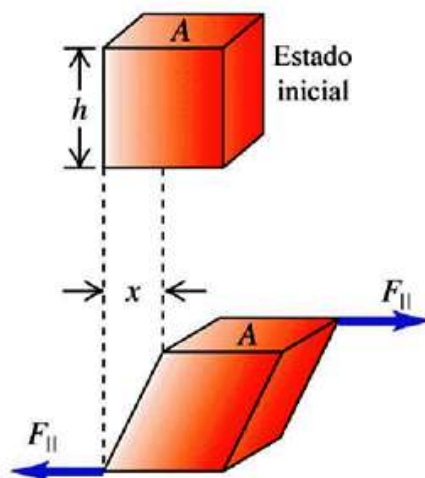


Ilustración 6 Deformación de un fluido por una fuerza externa.

Fuente: Fuente propia

Algunos de las reflexiones que se presentan en el estudio de la dinámica de fluidos son los acercamientos a los conceptos de flujo y líneas de flujo. Nos ilustra Dugas (1988) que Euler teniendo la influencia de los Bernoulli podía concebir esto como la unión de múltiples partículas fluidas, y estas, pueden tener cualquier dirección, por ejemplo: hacia un punto o lugar de un cuerpo fluido, que, puede cruzar una pequeña área perpendicular en una dirección. Con esta apreciación, se puede evidenciar la tendencia de investigación de la mecánica de fluidos propuesta por Euler.

Una de las concepciones y características de estos grandes pensadores del siglo XVIII fue el concepto de partícula fluida, puesto que, este término fue asociado al movimiento del fluido realizando una indagación del recorrido de ésta, siendo las líneas de flujo la representación de la trayectoria que siguen estas partículas.

De tal manera, estas partículas son las consideraciones que Euler tiene presente para el desarrollo diferencial, donde se observa la relación proporcional entre el flujo y la velocidad del fluido, teniendo en cuenta esta consideración se puede caracterizar el

movimiento del flujo, puesto que, la velocidad de esta partícula está ligada a cómo fluye. Para ilustrar mejor esta idea observar imagen siete.

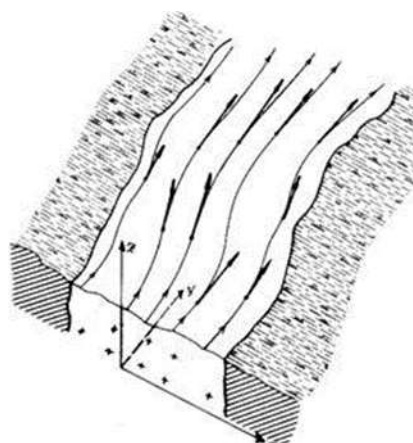


Ilustración 7 Comportamiento de las partículas fluidas sobre las líneas de flujo.

Fuente: <https://estudiarfísica.com/2008/12/22/física-general-12-dinámica-de-fluidos-linea-de-flujo-líneas-y-tubo-de-corriente-ecuacion-de-continuidad-ecuacion-general-del-movimiento-de-un-fluido-o-de-euler-ecuacion-de-daniel-bernoulli-y/>

Mediante este supuesto, es posible realizar una clasificación entre fluidos ideales y reales, teniendo en cuenta algunas diferenciaciones. Cuando hablamos de un fluido ideal, afirman Ruelle y Takens (1971) que, se considera en un fluido ideal nula la fricción entre las diferentes partículas fluidas o capas de sustancia; puesto que este, presenta un movimiento con una velocidad constante a través del tiempo, con ello su magnitud y dirección son las mismas. Puesto que, en ningún momento de la trayectoria podremos encontrar una rotación o dificultad del recorrido que hace el fluido, entonces su densidad será la misma en cada parte, y, por consiguiente, su volumen se mantendrá constante. Finalmente, se puede afirmar que el fluido será incomprensible (p.32). Para comprender mejor esta idea observar la imagen número ocho.



Flujo Ideal

Ilustración 8 Ilustración de un flujo ideal.

Fuente: Fuente propia

En este orden de ideas, los fluidos reales los podremos presentar las siguientes condiciones: existe una rotación y dificultad entre las capas o partículas del fluido, es decir, presenta una resistencia y viscosidad. La anterior afirmación, González (2017) afirma que dependerá de las condiciones termodinámicas del sistema (p. 26), vale la pena decir, que estas son consideradas como las variables de estado. Por otro lado, en el aspecto de la velocidad del fluido encontramos que esta tendrá una variación, la cual, se podrá clasificar de dos maneras diferentes: Laminar y turbulento. La caracterización de este se puede realizar teniendo en cuenta el valor crítico del movimiento, que dependerá de los parámetros iniciales tales como: la viscosidad, la temperatura, la velocidad, el caudal, entre otras, del sistema analizado, por tanto, si no sobrepasa este valor se denominará laminar de lo contrario se tomará como turbulento.

Ahora bien, gracias a los aportes y reflexiones de Nicolás y Daniel Bernoulli (1727) Euler en 1755 medita algunas de las consideraciones ignoradas por sus colegas tales como un fluido compresible o incompresible, homogéneo o no homogéneo donde su estado original está dado por la disposición de las partículas fluidas y su velocidad suponiendo un instante dado, al igual que las fuerzas externas que actúan sobre el fluido. Es necesario determinar, en todo momento, la presión, la densidad y la velocidad del elemento que pasa a través de ese punto. Con el fin de estudiar el estado instantáneo del fluido, Euler utiliza los componentes anteriormente mencionadas P , Q , R que son funciones de x, y, z y t donde se enmarcan las siguientes variables de estado tales como: la densidad " ρ ", la presión " P ", y los componentes u, v, w de la velocidad del elemento del fluido que está en el punto Z en el momento t cabe aclarar que estos son desconocidos.

Durante el tiempo es decir dt el elemento de fluido en Z será llevado al punto Z' , donde las coordenadas están dadas por la ecuación siete.

$$x + udt \quad y + vdt \quad z + wdt \quad \text{[Ecuación 7]}$$

Este elemento de fluido en z está dado por las siguientes coordenadas presentadas en la ecuación ocho.

$$x + dx \quad y + dy \quad z + dz \quad \text{[Ecuación 8]}$$

El cual, tiene una velocidad cuyos componentes son (Ecuación nueve):

$$\begin{cases} u + \frac{\partial u}{\partial x} dx + \frac{\partial u}{\partial y} dy + \frac{\partial u}{\partial z} dz \\ v + \frac{\partial v}{\partial x} dx + \frac{\partial v}{\partial y} dy + \frac{\partial v}{\partial z} dz \\ w + \frac{\partial w}{\partial x} dx + \frac{\partial w}{\partial y} dy + \frac{\partial w}{\partial z} dz \end{cases} \quad \text{[Ecuación 9]}$$

Durante un tiempo dt , este se lleva a un punto z' con el fin de realizar el cálculo. Euler primero considera un segmento Zz el cual es paralelo al eje de x durante el tiempo dt , es decir, que este segmento se evidenciará a través de un ángulo infinitamente pequeño, el cual estará dado por la ecuación número diez, cabe aclarar que esto es equivalente para cada uno de los ejes coordenados.

$$Z'z' = dx \left(1 + dt \frac{\partial u}{\partial x} dx \right) + \dots \quad \text{[Ecuación 10]}$$

A continuación, Dugas (1988) y Liñán (2009) independientemente nos presentan que, en el apartado titulado, “*Principia Motus fluidorum*”, Euler aclara el problema presentado al inicio de esta sección visto que complementa novedosamente la cinemática de los medios continuos. Además, calculando la forma del paralelogramo elemental, cuyo origen es Z y con lados dx , dy y dz (Imagen cinco), esté estará en un instante $t+dt$ debido al movimiento del fluido, Euler presenta que el volumen se convierte en la siguiente relación (Ecuación once).

$$dxdydz \left(1 + dt \frac{\partial u}{\partial x} + dt \frac{\partial u}{\partial y} + dt \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad \text{[Ecuación 11]}$$

Similarmente la densidad q de un fluido en Z siendo semejante en z' estará expresada como:

$$q + dt \frac{\partial q}{\partial t} + u dt \frac{\partial q}{\partial x} + v dt \frac{\partial q}{\partial y} + w dt \frac{\partial q}{\partial z} \quad \text{[Ecuación 12]}$$

En este punto Euler expresó la conservación de la masa en el transcurso del movimiento. De igual forma Euler afirma que "La densidad es recíprocamente proporcional al volumen, la cantidad q' se relaciona directamente con q en las coordenadas $dx dy dz$ "⁹ (Euler, 1752, p.302). puesto que está dada por la ecuación de continuidad (Ecuación uno), donde la división del medio está relacionada mediante las variables iniciales que resultan de la continuidad del fluido. Esta relación se representa en la ecuación número 13 como:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + w \frac{\partial q}{\partial z} + q \frac{\partial u}{\partial x} + q \frac{\partial v}{\partial y} + q \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \text{[Ecuación 13]}$$

Simplificando la ecuación doce podemos reescribirla como:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(qu) + \frac{\partial}{\partial y}(qv) + \frac{\partial}{\partial z}(qw) = 0 \quad \text{[Ecuación 14]}$$

Y para un fluido incompresible, esta se reduce a la ecuación número uno.

Teniendo presente todo lo anterior, Euler calcula la aceleración de la partícula fluida que está en Z en el instante t . Primero escribe los componentes de la velocidad en el punto Z' , a la que se lleva el punto Z al final del tiempo dt , de la forma:

$$\left\{ \begin{array}{l} u + dt \frac{\partial u}{\partial t} + u dt \frac{\partial u}{\partial x} + v dt \frac{\partial u}{\partial y} + w dt \frac{\partial u}{\partial z} \\ v + dt \frac{\partial v}{\partial t} + u dt \frac{\partial v}{\partial x} + v dt \frac{\partial v}{\partial y} + w dt \frac{\partial v}{\partial z} \\ z + dt \frac{\partial z}{\partial t} + u dt \frac{\partial z}{\partial x} + v dt \frac{\partial z}{\partial y} + w dt \frac{\partial z}{\partial z} \end{array} \right. \quad \text{[Ecuación 15]}$$

Donde la aceleración o el incremento de la velocidad está dado por:

⁹ "As the density is reciprocally proportional to the volume, the quantity q' will be related to q as $dx dy dz$ "

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \end{array} \right. \quad \text{[Ecuación 16]}$$

Cabe aclarar, que la masa ejerce la fuerza aceleradora “Peso”, cuyos componentes están dados por la masa elemental del paralelepípedo (Ilustración cuatro). Por consiguiente, se representan de la siguiente manera:

$$-\frac{1}{q} \frac{\partial p}{\partial x} ; \quad -\frac{1}{q} \frac{\partial p}{\partial y} ; \quad -\frac{1}{q} \frac{\partial p}{\partial z} \quad \text{[Ecuación 17]}$$

Así las ecuaciones de movimiento del fluido (Ecuación cinco) se pueden representar mediante la ecuación de continuidad (Ecuación trece) la cual *Euler* presenta como:

$$\left\{ \begin{array}{l} P - \frac{1}{q} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \\ P - \frac{1}{q} \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \\ P - \frac{1}{q} \frac{\partial p}{\partial z} = \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \end{array} \right. \quad \text{[Ecuación 18]}$$

Euler era demasiado consciente de la dificultad del estudio de estas ecuaciones de movimiento. De igual forma, Euler menciona en sus memorias que "Si no nos permite penetrar a un conocimiento completo del movimiento de los fluidos, la razón de esto no debe atribuirse a la mecánica o a la insuficiencia de los principios conocidos, sino al análisis en sí, el cual nos abandona aquí..."¹⁰ (Euler, 1755, p.308)

De la misma manera, Liñán (2009) realiza lo escrito por *Lagrange* sobre lo presentado por Euler para la mecánica de los fluidos, puesto que esta se redujo a una cuestión de análisis por sí sola, y si las ecuaciones que lo contienen eran integrables, en todos los casos se podrían

¹⁰ "If it does not allow us to penetrate to a complete knowledge of the motion of fluids, the reason for this must not be attributed to mechanics and the inadequacy of the known principles, for analysis itself deserts us here...."

determinar las circunstancias del movimiento y con ello el comportamiento de un fluido movido por cualquier fuerza. Desafortunadamente, son tan difíciles que, hasta el presente, sólo ha sido posible tener éxito en casos muy especiales, sin que nos concierne a los problemas particulares que trata. Dugas (1988) señala que Euler presentó la sencillez que resulta si tenemos lo propuesto en la ecuación diecinueve.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \text{[Ecuación 19]}$$

Mucho más tarde esto se distinguió como el caso en el que existía un potencial de velocidad, o el caso del movimiento irrotacional¹¹, Donde En un tercer artículo sobre el movimiento de fluidos, Euler llama la atención sobre un movimiento de esta índole, el cual presenta un plano de fluido incompresible, que se caracteriza por las dos condiciones presentadas en la ecuación veinte.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad ; \quad \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial y} \quad \text{[Ecuación 20]}$$

En este sentido, Afirma Dugas (1988) que Euler reconoce una deuda a D'Alembert por haber concebido este caso como $u - iv$ y este una función de $x + iy$ y $u + iv$ como una función de $x - iy$ (p. 304). Por otra parte, Liñán (2009) afirma que esto fue antes de que Cauchy hubiera sistematizado la noción de función analítica, y mucho antes de que existiera la moderna escuela de hidrodinámica (p.166). De igual forma Dugas (1988) y Castro (1988) afirman que *Euler* también escribe, con alguna pizca de sarcasmo. El primero nos presenta que:

"sin embargo sublime puede ser las investigaciones sobre los fluidos para los que estamos en deuda con MM. Bernoulli, Clairaut y D'Alembert, que se derivan tan naturalmente de nuestras dos fórmulas generales que uno no puede sino admirar este acuerdo de sus profundas meditaciones con la sencillez de los principios de los que he deducido mis

¹¹ Irrotacional: se dice que el flujo es irrotacional cuando se tiene un fluido el cual se desplaza en una corriente circular, pero las partículas del fluido no giran alrededor del eje que pasa por su centro de masas

dos ecuaciones, y a las que fui dirigido directamente por los primeros axiomas de la mecánica."¹² (Euler, 1755, p.320)

Gracias a este recorrido se puede comentar que las dificultades analíticas del problema general que presentaba Euler no están dadas por la mala interpretación analítica de las consideraciones experimentales o teóricas que se utilizaron en la hidráulica. Por el contrario, él de antemano estaba preocupado por la interpretación experimental y teórica de la rueda de Segner (Imagen nueve), la cual, había analizado con anterioridad su funcionamiento de las turbinas y con ello diseñado una turbina de reacción, gracias al desarrollo de este prototipo experimental Euler es considerado como un pionero en el desarrollo de turbinas modernas.

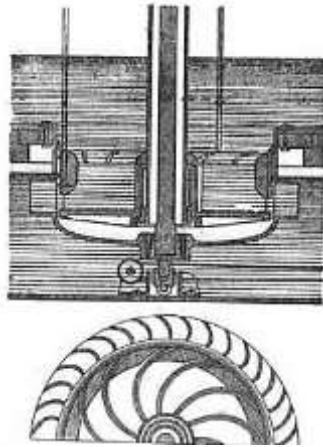


Ilustración 9 Ilustración rueda de Segner.

Fuente: http://www.robertexto.com/archivo16/hist_tecnicas3.htm

Estas reflexiones propuestas por Euler sobre el movimiento de los fluidos y los comportamientos fuertes mediante la rueda de Segner, nos centraremos en nuestro próximo

¹² " However sublime may be the investigations on fluids for which we are indebted to MM. Bernoulli, Clairaut and d'Alembert, they stem so naturally from our two general formulae that one cannot but admire this agreement of their profound meditations with the simplicity of the principles from which I have deduced my two equations, and to which I was directly led by the first axioms of mechanics."

capítulo a discutir un poco más sobre este fenómeno que posteriormente denominaremos turbulencia.

2. Capítulo II: La turbulencia, una componente del mundo natural

Teniendo en cuenta el primer capítulo, sobre las reflexiones de Euler en la mecánica de fluidos, entraremos en la discusión de algunas características y conceptos que este autor tenía de manifiesto para precisar el comportamiento de un fluido.

Antes de centrarnos en definir qué es un movimiento turbulento en un fluido, tendremos algunas consideraciones preliminares para poder hablar de él, puesto que este concepto es considerado en la cotidianidad como sinónimo de acontecimientos o momentos caóticos del diario vivir y esto lo afirma Ballesteros (2005) presentando que en la interpretación lingüística de las diferentes comunidades encontraremos este concepto relacionado o considerado como sinónimo de complejidad (p.45), tergiversando las consideraciones de este fenómeno.

Retomando la argumentación final presentada en el capítulo número uno, abordaremos una de las reflexiones y visualizaciones de Euler en la mecánica de fluidos, la cual consiste cuando el flujo de un fluido se comporta de manera real, por tal razón, él lo caracteriza como movimientos irregulares que conllevan a una perturbación en las líneas de flujo, observando diferentes remolinos y perturbaciones, como en su momento lo realizó Leonardo Da Vinci.

Seguidamente, podemos afirmar que este efecto de la naturaleza es visible con mayor claridad. Por ejemplo: en flujos atmosféricos, ríos y más, también, Ballesteros (2005) presenta que estos se evidencian en las diferentes aplicaciones de provecho tecnológico (P.5), tales como: flujos en conductos de ventilación, turbo maquinarias, calderas, cámaras de combustión, equipos de intercambio de calor, aerodinámica de vehículos, entre otros. Cabe aclarar, que este fenómeno, juega un papel fundamental y trascendental en diferentes campos del conocimiento, afirma Jiménez (2011) que este tipo de movimiento ocupa un puesto fundamental en el desarrollo del conocimiento en los diferentes campos de las ciencias exactas y la ingeniería (p.8), en la primera área del conocimiento se considera una de las

grandes problemáticas no resulta de la mecánica clásica, mientras que en la segunda es un factor crucial en los diferentes problemas del desarrollo tecnológico, tales como: las variaciones al momento de construir y planear un vehículo, la pérdida de carga en una tubería y la mezcla de soluciones en la industria química.

Ahora bien, cuando analizamos este tipo de movimientos, afirma Ibarrola (2009) que estos cumplen con ciertas características, las cuales son la inestabilidad en pequeña escala, un permanente y continuo proceso de mezcla y un dominante efecto de la inercia del fluido (p.1). En la primera, podemos afirmar que este se encuentra acotado por contornos estacionarios el flujo se caracteriza por tener sucesos repetitivos de inestabilidades que causan e inducen variaciones en las respectivas componentes de velocidad, dando como consecuencia una identificación del movimiento puesto que este se torna no estacionario.

Continuando con estas características y tomado presente los procesos de mezcla, se puede decir que este tipo de movimiento introduce componentes de velocidad transversales, puesto que en el movimiento principal se puede observar un aumento notable en el intercambio de masa, calor y cantidad de movimiento de la partícula fluida, dando así paso a la tercera característica de este movimiento, es decir, la inercia del fluido puesto que esta tiene un papel fundamental; afirma Ibarra y confirma Ballesteros que este tiene un papel superior con respecto al coeficiente de viscosidad frente a la densidad del fluido. Cabe aclarar, que esto se debe a que la transferencia de energía mecánica aumenta desde su componente estacionaria de acuerdo con la energía total del sistema.

Según este orden de ideas podremos caracterizar un poco más los fluidos reales, denotando un comportamiento que ya en su época Leonardo Da Vinci, los Bernoulli, Euler, entre otros autores, consideraban una complejidad al momento de analizar el barrido de las partículas fluidas en sistemas dinámicos, puesto que este fenómeno de la naturaleza no es propiedad del fluido sino del flujo, denotándolo posteriormente como turbulencia, afirma Jiménez (2011) que este concepto no fue utilizado sino hasta comienzos del siglo XX para denotar este comportamiento (p.13), para Euler este comportamiento lo expresaba como un movimientos brusco o fuerte de un fluido.

En este caso, tomaremos el concepto de turbulencia para facilitar un poco las apreciaciones de los autores sobre este fenómeno de la naturaleza. En concreto, esta palabra

nace del latín *turbulentia* y a su vez se deriva de *turbare* que significa perturbar. teniendo en cuenta las reflexiones de Euler (1752 y 1755) sobre este comportamiento él lo caracteriza mediante cuatro condiciones las cuales son: la irregularidad, la tridimensionalidad, la difusividad y la disipación (p.272). Conviene destacar, que Ballesteros (2005) agrega otra condición donde muestra la relación numérica del valor crítico que puede presentar este flujo (p.3).

La característica que Euler (1755) resalta con mayor frecuencia en su manifiesto es la irregularidad, puesto que las líneas de flujo presentan un comportamiento visual que facilita apreciar a cualquier observador, él aclara, que este comportamiento pasa por tres momentos, el primero es que el fluido se encuentra en un régimen laminar, por consiguiente, pasa a un estado de transición y por último a un régimen brusco, en nuestro caso hablaremos de turbulento. Esto lo podemos visualizar mejor en la ilustración número diez. La irregularidad, se presenta en la aparición de la variación de las variables de estado utilizadas en la hidrodinámica, por ejemplo: la velocidad, la presión, la concentración, entre otras. Además, estas características cumplen un papel crucial al momento de caracterizar este movimiento, puesto que este, puede existir bidimensionalmente (*plano*) y ser mediado en el tiempo. De igual forma, afirman Ruelle y Takens (1971) que las escalas más grandes de la turbulencia se dan fundamentalmente bidimensionalmente (p. 172). Sin embargo, afirma Ibarra (2005) que al momento que disminuyen las escalas en el espectro del fenómeno, se evidencia que el movimiento asociado es tridimensional (p.18).

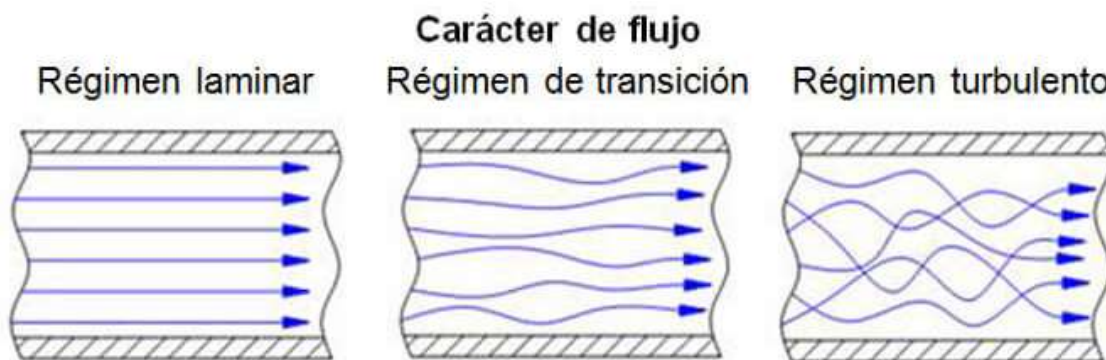


Ilustración 10 Representación gráfica de los diferentes regímenes de las líneas de flujo

Fuente: http://intech-gmbh.es/pipelines_calc_and_select/

Según lo anterior Euler resume que la turbulencia es: “El comportamiento general de un fluido real, en el cual, sus componentes de estado varían en el trayecto del sistema, generando en él, choques y movimientos bruscos de las partículas fluidas.” (Euler, 1755, P. 357)

Al observar este tipo de comportamiento descrito por Euler, diversos autores como Ávila (2006) afirma que este efecto, en las líneas de flujo, lo podemos visualizar con mayor claridad en las corrientes de agua que presenta un río (p. 35), puesto que este, al momento de observar con detalle se puede evidenciar lo descrito anteriormente y con ello un efecto de torbellinos en el agua, para ilustrar mejor este efecto observar la ilustración número 11. En el caso de los torbellinos, se puede afirmar que estos se descomponen en torbellinos aún más pequeños, cabe aclarar que estos pueden fraccionarse infinitamente posibilitando limitaciones para nuestro sentido de la vista sobre este fenómeno. A este conjunto de ideas que presenta Euler son las nociones que en 1942 se transformarán en el concepto de cascada de energía.



Ilustración 11 Comportamiento del caudal de un río (Foto del río Cune, Villeta, Cundinamarca).

Fuente: Fuente propia

Teniendo en cuenta la caracterización del flujo laminar anteriormente mencionado y las características del flujo turbulento, estas, las podemos resumir en la siguiente tabla e

ilustración número 12; La primera, es presentada por Ibarrola (2009) en su trabajo *Introducción al flujo turbulento* (p.3) con algunas modificaciones propuestas por el desarrollador del trabajo de investigación.

Tabla 1 Cuadro comparativo entre flujo laminar y turbulento.

Flujo Laminar	Flujo Turbulento
Este tipo de flujo no se encuentra con facilidad en la naturaleza y este se puede dar mediante algunos parámetros.	Este tipo de flujo se encuentra con mayor facilidad en la naturaleza, puesto que este se puede evidenciar en el comportamiento de ríos, corrientes de aire y más.
El movimiento de las partículas fluidas es ordenado y en conjunto se comportan estacionariamente	Es estacionario en conjunto, puesto que estos valores medios son el promedio de todo el comportamiento, pero, en su transcurso contiene inestabilidades a pequeñas escalas
Las fuerzas de viscosidad de origen molecular son predominantes	Las fuerzas viscosas son relativamente importantes
Las fuerzas de inercia son irrelevantes	Las fuerzas de inercia son dominantes

Fuente: Fuente propia

La tabla identifica la relación entre el flujo laminar y el flujo turbulento de acuerdo con su caracterización del comportamiento del mundo natural mediante sus variables de estado. Ahora bien, si queremos ser un poco más ilustrativos podemos visualizar la imagen número 12, la cual se evidencia el comportamiento del flujo laminar y turbulento.

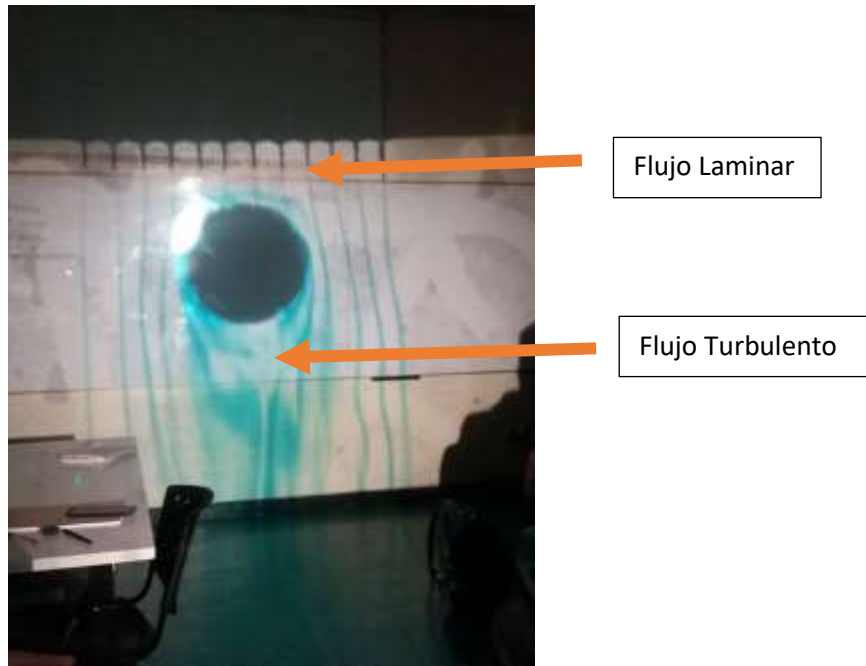


Ilustración 12 Fotografía del comportamiento de las líneas de flujo.

Fuente: Fuente propia

De igual forma, gracias al desarrollo conceptual propuesto anteriormente, tomaremos de referencia algunos autores que nos presenta Ibarra (2005) al momento de generarse una matematización sobre este fenómeno, puesto que estos, toman el desarrollo diferencial de Euler, dando así, una descripción aritmética sobre este comportamiento turbulento en las líneas de flujo, no obstante, este desarrollo aritmético presenta una aplicación de las ecuaciones de la hidrodinámica. Esta representación se encarga de dar una posible distinción del flujo. Regularmente está la podremos establecer gracias a la variación de torbellinos, a diferentes escalas, que logran llegar a existir en un flujo turbulento, puesto que estas, se denominan a través de tres diferentes escalas.

La primera escala la tomaremos cuando este torbellino se encuentra a un nivel macroscópico, estos vórtices son sensibles a nuestro rango de visión, puesto que estos, asocian la relación de velocidad v , la longitud L y el tiempo característico de duración de este remolino. Posteriormente Reynolds asocia estas variables para desarrollar su relación del número de Reynolds, donde el agrega la viscosidad cinemática del fluido ν para describir este comportamiento, esta relación la podemos encontrar en la ecuación 21. Según esta última consideración, podemos afirmar que estas características que presentan los torbellinos

dependen de las condiciones del flujo, las cuales generan un marco de carácter dependiente de la dirección del flujo.

$$R_e = \frac{VL}{\nu} \quad \text{[Ecuación 21]}$$

De la misma manera, podremos mencionar una escala inferior con respecto a la anterior considerada como intermedia, esta escala como la anterior, no existe una disipación de energía del sistema. También, esta se podrá representar con una velocidad u , una longitud λ y el tiempo característico del vórtice τ . Por otro lado, Ibarra (2005) nos presenta la última escala como microescala (p. 181), puesto que esta no está al alcance de nuestro sentido visual, una de las características de esta escala es la disipación de energía del sistema. Esta escala estará dada por una velocidad U_0 , una longitud λ_0 y un tiempo τ_0 . A diferencia de los torbellinos que se presentan en la macroescala, estos, presentan un carácter de desorden olvidando de donde preceden.

En definitiva, la turbulencia es un fenómeno complejo, gobernado por las ecuaciones de la mecánica de fluidos para un medio continuo. Incluso las escalas más pequeñas que aparecen en un flujo turbulento están muy lejos de las escalas de longitud molecular, por lo que su solución analítica resulta inviable.

Los trabajos de Leonhard Euler sobre el desarrollo de las ecuaciones de un fluido compresible no viscoso en dos y tres dimensiones como se presentó en el capítulo número uno, afirma Ávila (2006) que el desarrollo de este trabajo da luz a la dinámica de fluidos como rama de la física en el siglo XVIII (p. 24), a esto se suman diversas experiencias tales como la propuesta por Reynolds (1883), ya que este, fue el primero en estudiar sistemáticamente la transición de un flujo laminar a turbulento inyectando tinta en un flujo que se desplazaba a través de tubos de sección circular y de paredes transparentes, para visualizar esta actividad experimental observar ilustración número 13. Ballesteros (2005) por otro lado, menciona que sus observaciones llevaron a la identificación de un único parámetro adimensional, conocido ahora como el número de Reynolds, y denotado como Re (p. 8). Con el objetivo de determinar que la transición de flujo laminar a turbulento ocurre cuando toma valores por encima de cierto umbral dando una primera luz del comportamiento de líquidos y gases anteriormente ignorados.

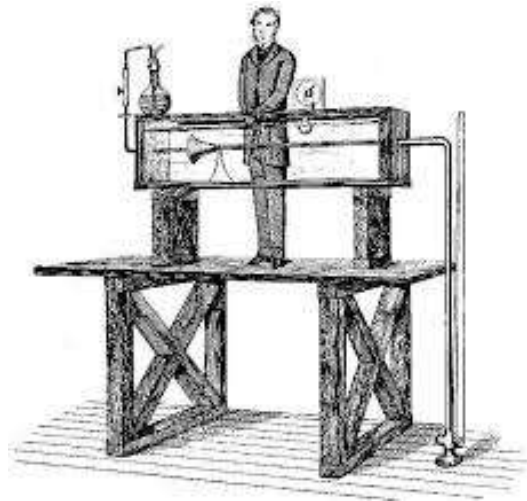


Ilustración 13 Montaje experimental de Reynolds.

Fuente: <https://labfftesiqie.files.wordpress.com/2009/11/práctica-de-reynolds.pdf>

Por otra parte, gracias a las consideraciones realizadas por Euler sobre el desarrollo de los flujos reales es que diversos autores obtuvieron nociones para el estudio de la turbulencia. como lo presentan Ibarra, Ballesteros, Briggs y Peat, Herrera y Conde, la actividad experimental y la observación jugó un papel fundamental en el desarrollo y construcción del concepto de este fenómeno. Por tal razón en el capítulo número tres entraremos a discutir el papel que juega la actividad experimental en la construcción de este concepto físico.

3. Capítulo III: La turbulencia, a través del monóculo de las máquinas

Antes de iniciar con el desarrollo de las máquinas propuestas en el presente trabajo, entraremos a indagar algunas características del desarrollo experimental que se tiene como soporte esta investigación.

3.1. El experimento como extensión de sensaciones en la física

En la construcción de conocimientos en el campo de las ciencias naturales, en específico la física, encontramos un papel primordial que juegan los instrumentos, actividades y desarrollos experimentales para la comprensión e indagación de algunos

fenómenos de la naturaleza. Rom Harré (1980) en su trabajo: *Grandes experimentos científicos* nos presentan una pregunta en particular, la cual será fundamental en desarrollo del presente capítulo, la cual es “¿Por qué necesitamos instrumental los científicos para estudiar el mundo natural?” (Harré,1986, p.17) puesto que la humanidad desde una primera instancia ha anhelado comprender o facilitar las diferentes actividades que visualiza del mundo natural, como se presentó en el primer capítulo, por ejemplo: el desarrollo de las estructuras romanas para el transporte de agua, o las consideraciones de Leonardo Da Vinci para el desarrollo de sus diferentes prototipos experimentales son algunos ejemplos de actividades experimentales que permiten interactuar con la naturaleza.

En la construcción de la actividad experimental tenemos un acercamiento a la sensibilidad del medio, afirman Hacking y Galison (1998) que esta consideración jugó un papel fundamental en el siglo XVII (p. 17), puesto que, este momento de la historia generó un antes y un después en el desarrollo de la física experimental, en el cual, las reflexiones en el ámbito de la experimentación salen a flote mediante diversos autores que utilizaban la experiencia y las observaciones como herramienta para la construcción de conocimiento. El objetivo de esta herramienta lo presenta Thumper (2003) que era descubrir por qué la naturaleza nos revela sus aspectos más ocultos cuando generamos cierto tipo de observaciones detalladas del mundo natural a través de métodos o instrumentos experimentales (p. 655).

Asimismo, Harré, Hacking y Galison en sus trabajos de investigación sobre el desarrollo experimental presentan una clasificación de la interacción que tiene el ser humano con los fenómenos de la naturaleza, con ello, se puede generar un acercamiento diferente en cada una de las categorías, cabe aclarar, que esta clasificación está dirigida mediante la experiencia sensible que puede tener el individuo. Según este orden de ideas, se pueden denotar como: el observador, el explorador y el experimentador. El primero, genera una interacción pasiva con el entorno natural y solo se dedica a percibir y describir lo que ve. Mientras que un experimentador interviene activamente en la marcha de la naturaleza, donde este, da como resultado diferentes reflexiones y resultados de la observación, por ende, esta categoría se puede encargar de caracterizar el fenómeno a través de diversos parámetros y variables dependientes de la naturaleza. Sin embargo, existe un punto intermedio entre el

observador y el experimentador; se puede denominar, el explorador, éste, proporciona algunas reflexiones teóricas utilizando el carácter manipulativo de las actividades experimentales y la observación, cabe aclarar que esta categorización se le puede atribuir a Euler, al momento de generar su postura sobre la mecánica de fluidos.

Estas prácticas tienen una relación y una necesidad en los ámbitos sociales y culturales, es decir, el contexto en el cual se desarrolla este tipo de visualización, dará reflexiones acorde a las problemáticas o cuestionamientos que se dan en ese lapso de tiempo, por consiguiente, este tipo de investigación puede variar en el transcurso de las épocas dando como resultado la necesidad de separar variables y fijar algunos parámetros que limitan el alcance que puede tener la práctica experimental, puesto que, en el instante histórico que se genera esta actividad puede dar cierto grado de validez para corroborar alguna hipótesis de los fenómenos físicos de la época.

El desarrollo de estas actividades están sujetas directamente a los pensamientos y características que el investigador o la comunidad que trabaja sobre esta temática tengan presente para visualizar el fenómeno, puesto que, este tipo de colectivos quieren visualizar a una escala más pequeña y en un lugar determinado el fenómeno de la naturaleza que están trabajando, afirma Harré (1986) que el razonamiento humano es el que simula este comportamiento dando como resultado una generalidad por consiguiente una ley (p. 14), sin lugar a duda, las diversas posturas de interpretación están enmarcadas en una ambigüedad mientras que no se conoce el solvente teórico que la soporta. Por tanto, la observación, la experimentación y la exploración necesitan diversos instrumentos que posibilitan acercarnos al comportamiento del mundo natural, dando así, un conocimiento un poco más verás de lo que no podemos visualizar.

Cuando hablamos de instrumentos experimentales podemos hablar de dos clasificaciones pertinentes sobre este tema. En una primera instancia podremos hablar de instrumentos o equipos que se encargan de cuantificar, es decir, encontrar una relación métrica sobre el comportamiento del fenómeno del mundo natural, a este tipo de artefactos los consideraremos como de medición, por ejemplo: los relojes, metros, reglas, entre otros. Por otro lado, podremos referirnos a aquellos instrumentos que permiten potenciar los

sentidos ya sean a una escala microscópica o macroscópica, donde se encuentra el fenómeno a visualizar, un ejemplo de estos son los grandes telescopios o los microscopios.

Los instrumentos de medida como una extensión de los sentidos, dependen de ciertas características y objetivos que el investigador o la comunidad científica establezca para corroborar o visualiza el fenómeno de la natural, cabe aclarar que estas consideraciones dependen únicamente del investigador, produciendo ambigüedades sobre el comportamiento de los resultados obtenidos, puesto que estos, son considerados como el corazón o el centro de múltiples investigaciones, sin embargo, este tipo de artefactos tienen como objetivo aislar el fenómeno que se desea estudiar y así mismo encontrar una posible causa que dé como resultado el objeto de estudio.

De esta manera, al instante que interactuamos con el mundo natural encontramos una extensa gama de experiencias al unisonó que están dadas en la cotidianidad, gracias a este tipo de visualización los grandes científicos han generado múltiples instrumentos que posibilitan aislar un fenómeno físico en un artefacto experimental, puesto que estos, lo desarrollan para generar una investigación, corroborar una teoría o replicar este efecto de la naturaleza en algún lugar determinado, como se mencionó anteriormente, a propósito Harré nos menciona que estos instrumentos nos dan una visión aproximadamente correcta de lo que nosotros captamos en nuestra observación de los entornos naturales, él resalta que cuando observamos fenómenos que no están al alcance de nuestro rango sensible; la física da un papel fundamental de estas visualizaciones proporcionando múltiples cuestionamientos, hipótesis o teorías del comportamiento del fenómeno desconocido.

Con todo lo anterior, surge la problemática de la interpretación de datos que nos suministran los instrumentos experimentales, nos presentan Harré (1986) e indaga Thumper (2003), que estas sensaciones alrededor del instrumento son completamente ambiguas ya que los instrumentos no son los que revelan el fenómeno por sí solos puesto que los diferentes análisis de los resultados se dan mediante la interpretación desarrollada por las diversas posturas de la física. A partir de lo anterior, se puede afirmar que los instrumentos nos proporcionan un detallado registro de los diversos acontecimientos del mundo natural y este comportamiento estará dado por la creencia que se tenga de las relaciones generadas por el estado del mundo natural y el efecto que se obtenga en el instrumento.

El proceso de los resultados mencionado anteriormente se encuentra ligado directamente al estado bien definido del instrumento es decir la calibración de este. Harré presenta la importancia de la calibración del instrumento, puesto que esto, generará una representación fiable del mundo natural, así pues, se puede llegar a considerar como el postulado de la medición fiel presentado por Harré, lamentablemente el ser humano no tendrá la capacidad física para poder recrear a la perfección el comportamiento de los efectos del mundo natural en los instrumentos experimentales, por tal razón, Harre, Abrahams, Hacking, Galison, entre otros, convergen a que el instrumento nos brinda una aproximación a las diversas sensaciones del mundo natural puesto que sin ellas desconocemos en absoluto nuestro entorno mediante diferentes postulados.

Ahora bien, gracias a estas consideraciones presentadas anteriormente encontramos una caracterización un poco más definida sobre el desarrollo de los diferentes instrumentos para la construcción de conocimiento en el campo de la física, pero, retomando la pregunta de Harré entraremos a indagar también sobre algunas actividades experimentales, puesto que, para nuestro autor principal Euler jugó un proceso fundamental en el desarrollo de sus diferentes propuestas en el ámbito de la mecánica de fluidos. Retomando un poco el apartado de este autor se observa como el interés por la rueda de Segner y los diferentes montajes de canales y tuberías desarrolladas por los Bernoulli dieron paso a sus apreciaciones teóricas sobre esta rama de la física.

Teniendo en cuenta la Afirmación de Suay (2008) nos presenta que a finales del siglo XVII y a lo largo del siglo XVIII existieron diferentes formas de abordar el estudio de lo que se conoce hoy en día como máquinas hidráulicas (p. 119). Diferentes autores del siglo XVIII entre ellos Euler abordaron el estudio de este tipo de máquinas empleando los métodos de la mecánica radial, generando un desarrollo matemático sobre este comportamiento como se encuentra presente en el apartado de este autor, puesto que su interés con el desarrollo experimental en el ámbito de la mecánica de fluidos da paso a comprender esta rama de la física.

Por otra parte, Suay (2008) presenta que gracias a este desarrollo experimental se genera un objetivo para Euler que es matematizar de una forma más específica los comportamientos de los fluidos reales (p. 121), con ello, él presenta diversas

representaciones matemáticas para el movimiento de un cuerpo en el interior de un fluido, ya sea, que se encuentren flotando o sumergido en él, por tanto esta caracterización desencadena en la explicación de los problemas observados de tubos, canales o el comportamiento de un fluido al momento de salir de un recipiente evidenciando diversas aplicaciones de la teoría de la hidrodinámica al funcionamiento de las máquinas hidráulicas.

Retomando estas consideraciones se pueden llegar a algunas consideraciones de la pregunta propuesta al inicio de este capítulo puesto que las ciencias naturales, y sobre todo en el campo de la física, se puede considerar como una entidad razonable que tiene de base evidencias y experiencias válidas mediante críticas, discusiones y razonamientos lógicos. Cada una de estas características se pueden representar mediante la experiencia que cada ser humano puede obtener de su cotidianidad, de igual forma Harré presenta que estos procesos tienen como innata la observación del mundo natural, puesto que esta, esboza la forma de organizar las vivencias para establecer experiencias sensibles al entorno físico. A continuación, se presentan los siguientes montajes experimentales de orden cualitativo para generar una exploración sobre la turbulencia.

3.2. La turbulencia, un fragmento del comportamiento de los fluidos por medio de las máquinas

Cuando examinamos y estudiamos los diferentes comportamientos de los fluidos, en una instancia real, observamos uno de los comportamientos más frecuentes de las líneas de flujo en el agua, retomando un poco las reflexiones alcanzadas en capítulos anteriores estos comportamientos son considerado como movimientos bruscos, es así, como diferentes propuestas experimentales surgen para la comprensión de este fenómeno de la naturaleza.

Teniendo en cuenta el apartado anterior, se puede mencionar la importancia que tiene el desarrollo experimental para la construcción de conocimiento en el campo de la mecánica de fluidos. A continuación, se presentan tres diferentes instrumentos experimentales que fueron eje principal de este trabajo de investigación, es clave afirmar que estos montajes son

de orden cualitativo puesto que su propósito es generar una exploración del fenómeno de la turbulencia. los cuales son¹³:

1. Aparato de hilos de corriente según el profesor Pohl (Cámara plana)
2. Cubeta de líneas de flujo
3. Canal de corrientes.

Inicialmente se presenta el aparato de hilos de corriente de agua. Este artefacto experimental es propuesto por el doctor Pohl (1965) de la universidad de Berlín con el fin de visualizar los diferentes comportamientos de las líneas de flujo. A continuación, se presenta una caracterización de este montaje.



Ilustración 14 Fotografía aparatos de hilos de agua.

Fuente: Fuente propia

¹³ En anexo se encuentra el diario de reparación de cada uno de los artefactos experimentales.

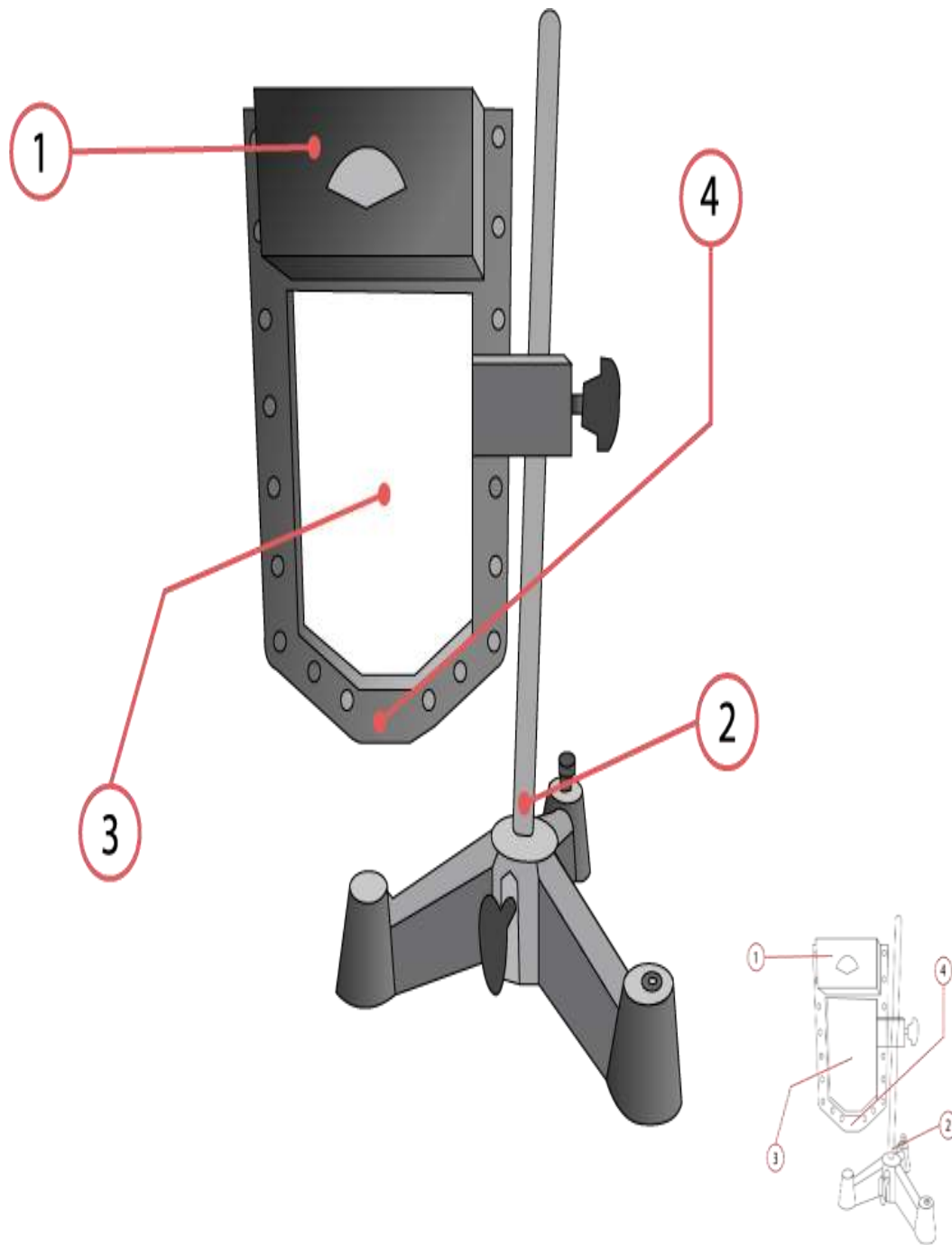


Ilustración 15 Esquema del aparato de hilos de agua.

Fuente: Fuente propia

Este instrumento experimental está compuesto por cuatro partes, las cuales se encuentran señaladas en el esquema del montaje presentado en la imagen número 15. Estas son:

1. Dos tanques de suministro. Estos cuentan con una capacidad máxima de 70 mililitros y cada uno de ellos tiene un total de catorce agujeros en la parte inferior en dirección al centro del montaje.
2. Un soporte universal. Este montaje cuenta con una pinza metálica que puede regularse al tamaño de la varilla que tenga el soporte universal.
3. Pantalla de visualización del fenómeno. La pantalla está constituida por dos láminas de vidrio, estas tienen un grosor de 3 milímetros, cuenta con un refuerzo de silicona y en algunos espacios con plastilina guarda tipos, es importante mencionar que en todo el borde cuenta con dieciocho tornillos en puntos estratégicos, los cuales, aseguran y no permiten el escape de las soluciones utilizadas.
4. Tubo de salida. Este, tiene una medida de tres centímetros de largo y un diámetro de seis milímetros, en la parte inferior de este montaje consta de un agujero de aproximadamente 3 milímetros de diámetro, gracias a esta característica se puede acoplar una manguera de látex para regular la salida del fluido y con ello su velocidad de salida del instrumento.

Teniendo presente estas consideraciones podremos hablar del funcionamiento de éste, en primer lugar, se llenan los dos tanques con agua limpia de tal manera que rápidamente llene el espacio estrecho entre las dos placas de vidrio, inmediatamente se debe sellar el tubo de salida. Después, se agrega nuevamente agua limpia en ambos contenedores y en uno de ellos se agregan algunas gotas de tinta y se mezcla cuidadosamente, posteriormente, se abre lentamente el sello puesto en el tubo de escape para que las líneas de tinta puedan bajar lentamente en el instante; se debe tener presente el instante que la muestra de tinta llegue al tubo de escape, por consiguiente, este se debe sellar. Si observamos la pantalla podremos visualizar las líneas de flujo. Si queremos explorar el fenómeno trabajado en este documento es conveniente colocar uno de los accesorios, con estos, se puede llevar a visualizar cómo las líneas de flujo se tornan con pequeños remolinos dando así los efectos de turbulencia.

Teniendo en cuenta lo anterior, se pueden dar algunas recomendaciones del uso de este montaje. En una primera instancia se debe controlar la cantidad de fluido en cada uno de los tanques, puesto que, la capacidad de estos juega un papel primordial para el buen funcionamiento de la actividad experimental. Por ende, cuando se utilizan los accesorios procurar que la pantalla se encuentre vacía, dando paso, al flujo de agua como se menciona anteriormente.

Este dispositivo fue desarrollado por la marca *PHYSIK GERATE* en el año de 1957 gracias a los diferentes aportes del DR. Pohl alcanzados en sus cursos de hidrodinámica, retomando algunas memorias escritas por él, se puede indagar que la idea de este montaje nace al momento que observa el corrimiento de agua en los vidrios del aula de clase en el que él se encontraba, esto se puede encontrar en las memorias del profesor Pohl de 1965. Gracias a la forma de este aparato es una óptima propuesta para determinar los diferentes comportamientos de las corrientes de agua desde la perspectiva euleriana, ya que este montaje proporciona una regularidad en la velocidad del fluido que pasa por el montaje.

Este artefacto experimental se puede relacionar con el montaje presentado en el trabajo de grado *La turbulencia, un fluido irregular y complejo* realizado por Ávila, G. en el 2006 donde presenta la construcción de un canal vertical compuesto de nailon, para ver el comportamiento de una película jabonosa, dando así, una visualización del efecto de turbulencia.

Es oportuno mencionar, la importancia de la recuperación de este montaje experimental, puesto que, en el desarrollo de este trabajo, este artefacto se encontraba en una condición de abandono, dando como resultado, la oxidación de algunas de sus piezas y el deterioro en general del montaje. Se invita al lector a que indague un poco más en las memorias de la recuperación de este material que se encuentran en los anexos de este documento.

Teniendo en cuenta el orden propuesto anteriormente sobre los montajes experimentales, se presenta la cubeta de líneas de flujo, la cual fue desarrollada por la empresa *PHYWE* en el 2003, viendo la necesidad de generar instrumentos experimentales para evidenciar el comportamiento de las líneas de flujo. A continuación, se presenta una caracterización de este montaje.

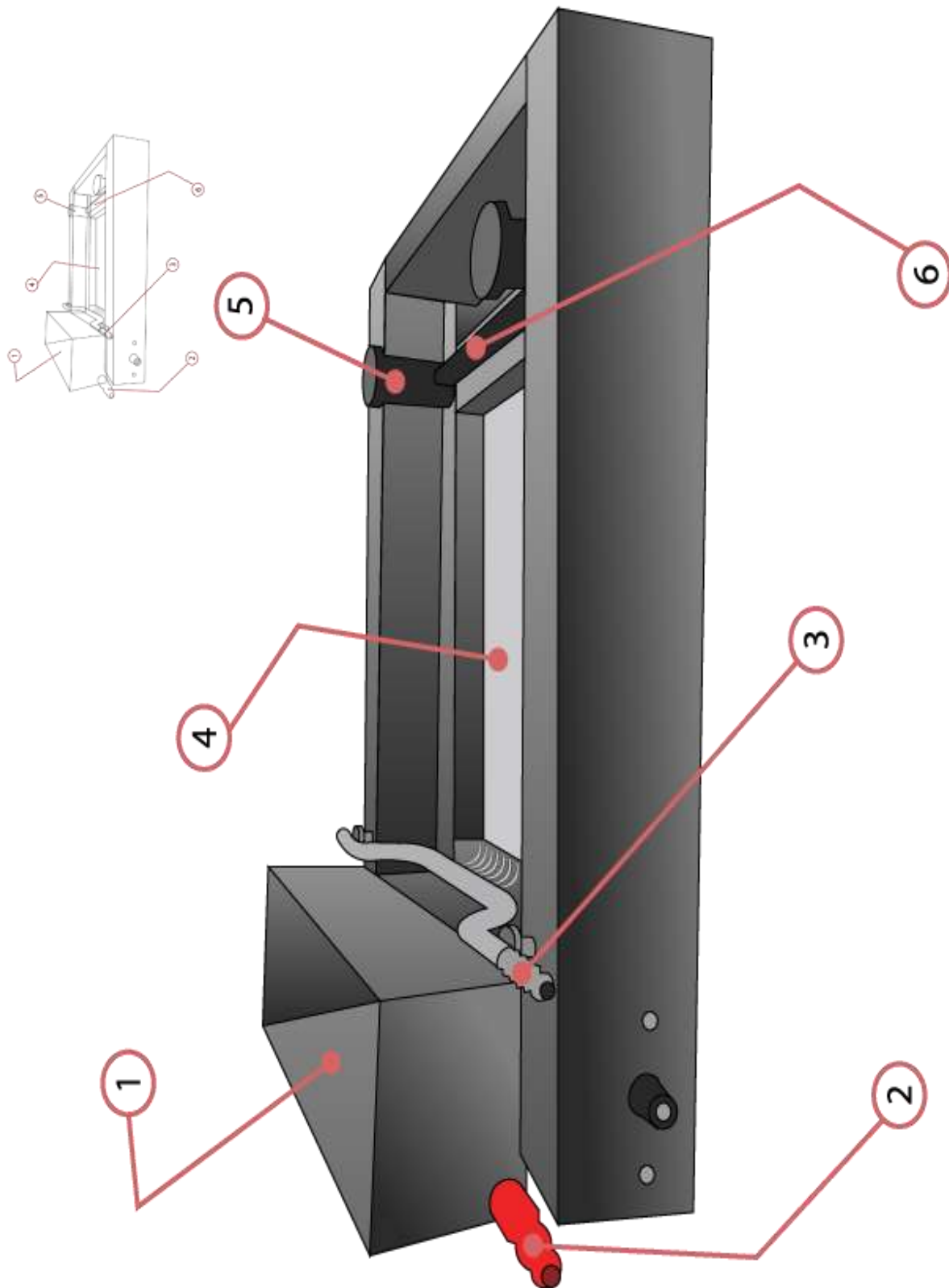


Ilustración 16 Esquema de la cubeta de líneas de flujo.

Fuente: Fuente propia



Ilustración 17 Fotografía de la cubeta de líneas de flujo.

Fuente: Fuente propia

Este instrumento experimental está compuesto por siete partes, las cuales se encuentran señaladas en el esquema del montaje presentado en la imagen número 16. Estas son:

1. Contenedor de agua, este consta con una capacidad máxima de 500 mililitros, en la parte inferior tiene treinta y dos agujeros del mismo tamaño que generan un flujo constante de agua para el buen funcionamiento del montaje. También consta de tres agujeros de forma circular en la parte superior, con la funcionalidad de dar un límite a la capacidad de agua a este montaje.
2. Acople del tanque de agua, este tiene un tamaño aproximadamente de seis centímetros de largo y un diámetro de un centímetro y medio, en uno de sus extremos tiene dos desniveles que funcionan como soporte cuando se coloca la manguera de látex, dando como resultado, un buen agarre con la manguera evitando por completo algún escape de agua que pueda tener.
3. Tubo con salidas capilar para la dispersión de tinta, este tubo es de aluminio, tiene aproximadamente veinticuatro centímetros de largo y un diámetro de un centímetro, también este tubo cuenta con un acople en uno de sus extremos con cuatro desniveles para la misma función comentada anteriormente. Este tubo tiene doce tubos

capilares, con el fin de generar líneas muy delgadas con cierta cantidad de tinta para visualizar mejor el efecto. Cuenta con dos tornillos en cada uno de sus costados para regular la altura de este.

4. Pantalla de visualización, esta parte del montaje tiene las siguientes medidas: quince centímetros de largo por 10 centímetros de ancho, aproximadamente, el material de esta pantalla es vidrio con el fin de colocar un proyector en la parte de abajo para así poder visualizar mejor el fenómeno.
5. Bastones reguladores de paso de agua, esto bastones cuentan con una altura aproximadamente de cinco centímetros con un diámetro de tres centímetros y medio y la circunferencia de la parte superior de cuatro centímetros. La funcionalidad de estos es mover la barrera para regular el paso de agua hacia el desagüe del montaje.
6. Barrera de paso de agua, esta barrera está compuesta por tres varillas metálicas de aproximadamente diez centímetros de largo con un diámetro de veinticinco milímetros. En el instante que giran uno de los bastones una de las barrillas corre hacia delante dejando así pasar el flujo de agua hacia el desagüe.
7. Desagüe, esta parte de montaje está compuesta por una pequeña cavidad y un tubo que da al exterior del montaje, este tubo tiene un centímetro de diámetro y cuatro centímetros de largo.

Gracias a la explicación de cada una de sus partes se puede comentar el funcionamiento de este instrumento. En primer lugar, se debe conseguir algunos accesorios, además, para el funcionamiento óptimo de este montaje experimental. Los cuales son: un proyector, un destilador con válvula de paso, tres mangueras de látex de un tamaño prudente de largo.

Teniendo listo todo lo mencionado anteriormente se procede a ensamblar el montaje, primero se coloca el reflector en un lugar prudente donde se pueda obtener un flujo de agua constante (*Una llave del agua*), con ello, un lugar donde se pueda dejar los residuos de agua (*un fregadero*), después se coloca la cámara de líneas de flujo sobre el proyector en la dirección que sea más conveniente, posteriormente, se coloca una manguera desde el desagüe de la cámara al fregadero, seguidamente, se sitúa otra manguera desde el acople del tanque de agua al suministro de agua, verificar bien que el montaje no tenga ninguna fuga. Después de estos pasos se procede a colocar el suministro de tinta en el cual se utiliza un destilador a

una altura mayor a la que se encuentra la cámara, este destilador se une por medio de una manguera con el tubo con salidas capilares.¹⁴

Cuando visualizamos este efecto podemos ver el comportamiento de las líneas de flujo como en el instrumento anterior, pero la ventaja de este montaje es que se puede proyectar y generar un mejor alcance para que más personas puedan estudiar este fenómeno. Este montaje experimental cuenta con diez accesorios, que gracias a ellos se puede ver el comportamiento de las líneas de flujo cuando tienen un obstáculo presente, evidenciando así, el fenómeno de turbulencia mediante barreras.

Algunas recomendaciones al momento de utilizar este montaje es tener presente el buen flujo de agua del suministro, puesto que si este no es constante el fenómeno no se observará bien. También estar pendiente de que la cantidad de tinta que se encuentra sea la suficiente para poder visualizar el fenómeno, por último, se recomienda tener cuidado con el nivel del agua que se encuentra dentro de la cámara, es decir, regular la cantidad de agua mediante los bastones y la barrera de desagüe.

Como se mencionó anteriormente este montaje experimental fue diseñado por la marca *PHYWE* a mediados de los años 2000, con el fin de brindar un nuevo diseño a su montaje anterior. Este montaje experimental llega al departamento de física a mediados del año 2005 con el fin de fortalecer las experiencias en mecánica de fluidos, lamentablemente este instrumento no fue de mayor utilidad en los diferentes espacios académicos ya que no era requerido, por consiguiente, fue guardado en una de las gavetas del departamento. Se invita al lector a indagar un poco más sobre el estado de este montaje experimental en el diario de reconstrucción.

Por último, según el orden presentado en el inicio de esta sesión del capítulo entraremos hablar sobre el canal de corrientes de agua, el cual fue el instrumento experimental que mayor tiempo y dedicación necesito. Por consiguiente, se realizará una caracterización de este montaje.

¹⁴ Se recomienda al lector observar el diario de la reparación del montaje donde se encuentra un poco más detallado este proceso.

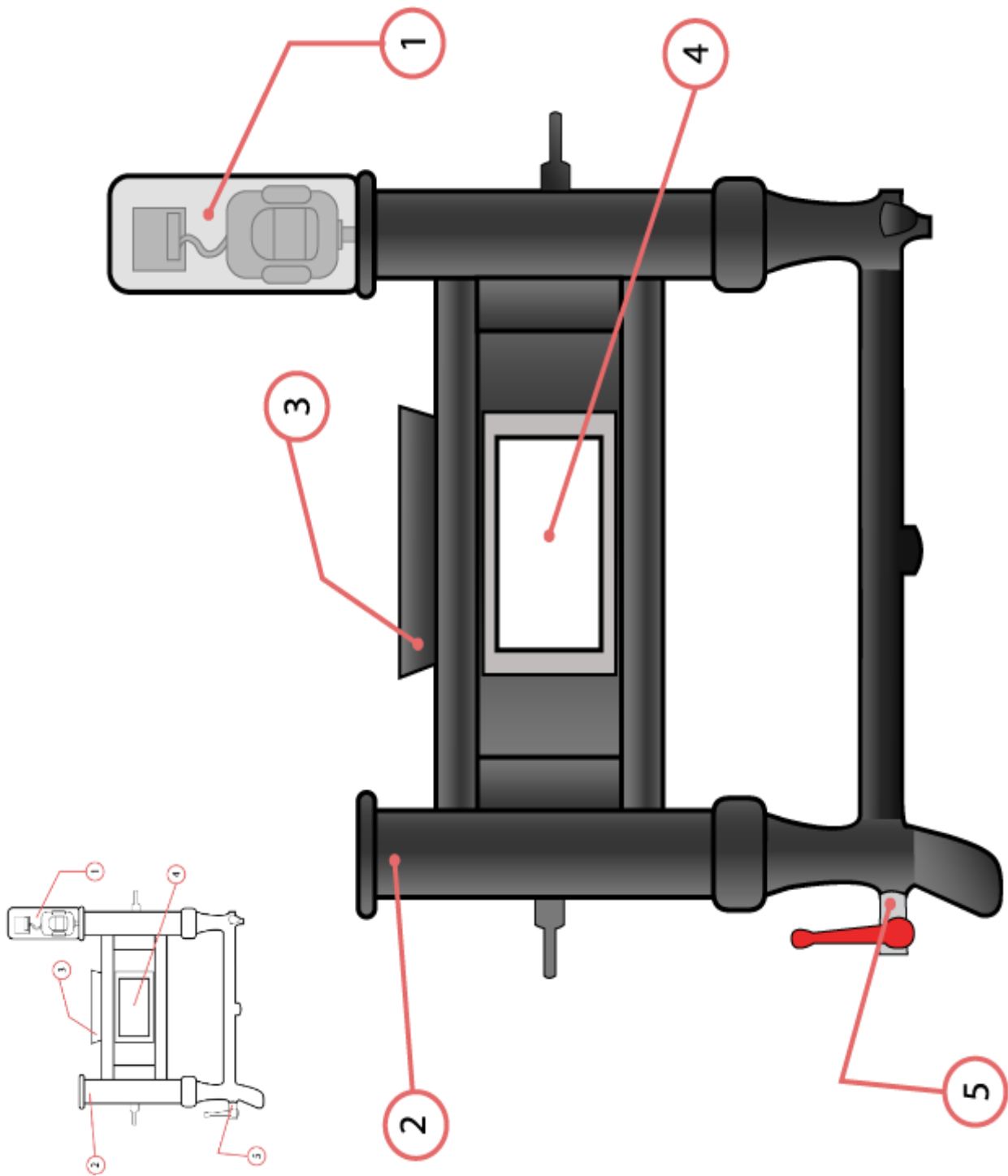


Ilustración 18 Esquema del canal de corrientes de agua.

Fuente: Fuente propia



Ilustración 19 Fotografía del canal de corrientes.

Fuente: Fuente propia

Este instrumento experimental está compuesto por cinco partes, las cuales se encuentran señaladas en el esquema del montaje presentado en la imagen número 18. Estas son:

1. Motor y regulador de velocidad. Este motor cuenta con un funcionamiento a ciento diez voltios con una frecuencia de 20/DC. Por otro lado, se encuentra el regulador de voltaje el cual posibilita la variación de velocidad del eje de la máquina en un rango determinado, puesto que, si este rango es sobrepasado el montaje experimental no funcionará acorde a lo esperado. Es válido mencionar, que estos dos se encuentran cubiertos por un recipiente plástico con suficiente espacio para la refrigeración de estos.
2. Cavidad de ingreso de agua. Esta cavidad cuenta con un diámetro de nueve centímetros. Cabe aclarar, que este montaje experimental tiene la capacidad máxima de albergar cuatro litros de agua.
3. Escotilla. Este segmento del montaje consta de una tapa hermética de aproximadamente catorce centímetros de largo por cuatro centímetros de ancho, la funcionalidad de esta escotilla es poder introducir los diferentes accesorios para generar perturbaciones en las corrientes de agua.
4. Pantalla de visualización del fenómeno. Esta pantalla tiene las siguientes medidas, de largo tiene 17,8 centímetros y de alto tiene 8,7 centímetros, es válido mencionar que

esta pantalla está compuesta por dos vidrios uno de 0,3 milímetros de grosor y el otro de 0,5. También para tener en cuenta, antes que el flujo de agua pase a la pantalla de visualización este montaje experimental cuenta con unos pequeños tubos internos que ayudan a filtrar y a regular el agua.

5. Registro de salida. Este registro cumple con la finalidad de desaguar el montaje experimental.

Ahora bien, gracias a la presentación de las partes del montaje experimental podremos comentar el funcionamiento de este. En primer lugar, se debe suministrar la cantidad máxima de agua, la cual es de cuatro litros, posteriormente se conecta el enchufe del motor a una toma de ciento veinte voltios. Teniendo listo esto, se gira lentamente la perilla que regula la velocidad del eje del montaje, evidenciando así, en la pantalla el comportamiento del flujo de agua, puesto que la máquina por sí sola genera una cierta cantidad de burbujas para visualizar el fenómeno. Por último, se recomienda introducir, por medio de la escotilla, uno de los accesorios para ver el comportamiento de las líneas de flujo con un obstáculo.

Es válido mencionar que este montaje experimental recoge los otros dos anteriores siendo el óptimo al visualizar de una manera más clara el comportamiento de las líneas de flujo y con ello representar el fenómeno de turbulencia en un fluido. También, es el montaje que menos cantidad de agua utiliza y desperdicia para su funcionamiento, por tal razón, el desarrollo de este proyecto se enfocó en la recuperación total de este montaje experimental, ya que, como herramienta posibilita visualizar y estudiar el fenómeno de turbulencia de una forma más clara. En anexos, se encuentra el manual de cómo utilizar esta actividad experimental y algunas preguntas orientadoras para estudiar este fenómeno de la naturaleza.

Ahora conociendo como funciona este instrumento experimental y de que se compone, se puede mencionar que este pertenece a la familia de la marca *LEYBOLD*, donde sus primeros diseños aparecen en 1945, con la inquietud del comportamiento del agua en cierto tipo de canales para extracción de oro en los ríos, para visualizar uno de los primeros planos observar la siguiente imagen.

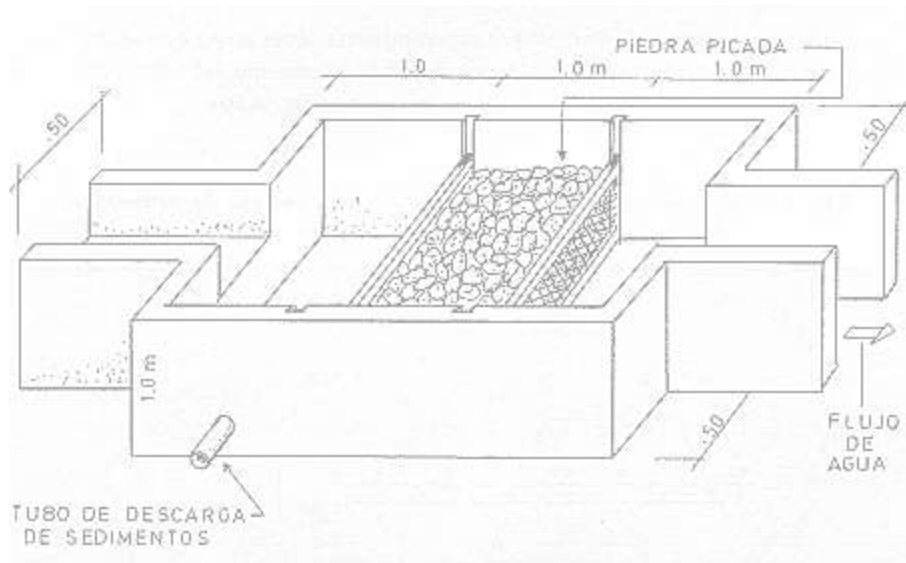


Ilustración 20 Primer esquema del canal de corrientes.

Fuente: <http://www.iiap.org.pe/Upload/Publicacion/CDinvestigación/iiap/IIAPI/>

A mediados de 1950, la compañía retoma los planos de esta actividad experimental, con las reflexiones y apreciaciones de los diferentes autores más relevantes de la mecánica de fluidos y las consideraciones de las culturas greco-romanas, como se mencionó en el primer capítulo, dan pie a la construcción de este prototipo experimental para estudiar el comportamiento de un caudal de agua cuando es sometido a interactuar con diferentes cuerpos, por tal razón, el protético restaurado en este proyecto es la tercer edición de esta idea, el cual es propuesto a mediados de la década de los setenta.

Es oportuno mencionar la importancia de la recuperación de este montaje experimental, puesto que, en el desarrollo de este trabajo fue el eje principal en la investigación experimental, Se invita a lector a que indague un poco más en las memorias de la recuperación de este material que se encuentran en los anexos de este documento, puesto que, al inicio este montaje se encontraba en condiciones bárbaras a tal punto que se solicitaba dar de baja por el estado que se encontraba.

Gracias a las consideraciones y reflexiones de este capítulo se presenta a continuación una propuesta de aula donde involucra cada uno de los montajes experimentales presentados anteriormente, con el fin de aproximar a los conceptos trabajados en los anteriores capítulos con el eje central del fenómeno de la turbulencia.

3.3.Propuesta de aula: La turbulencia a través de las líneas del sentir

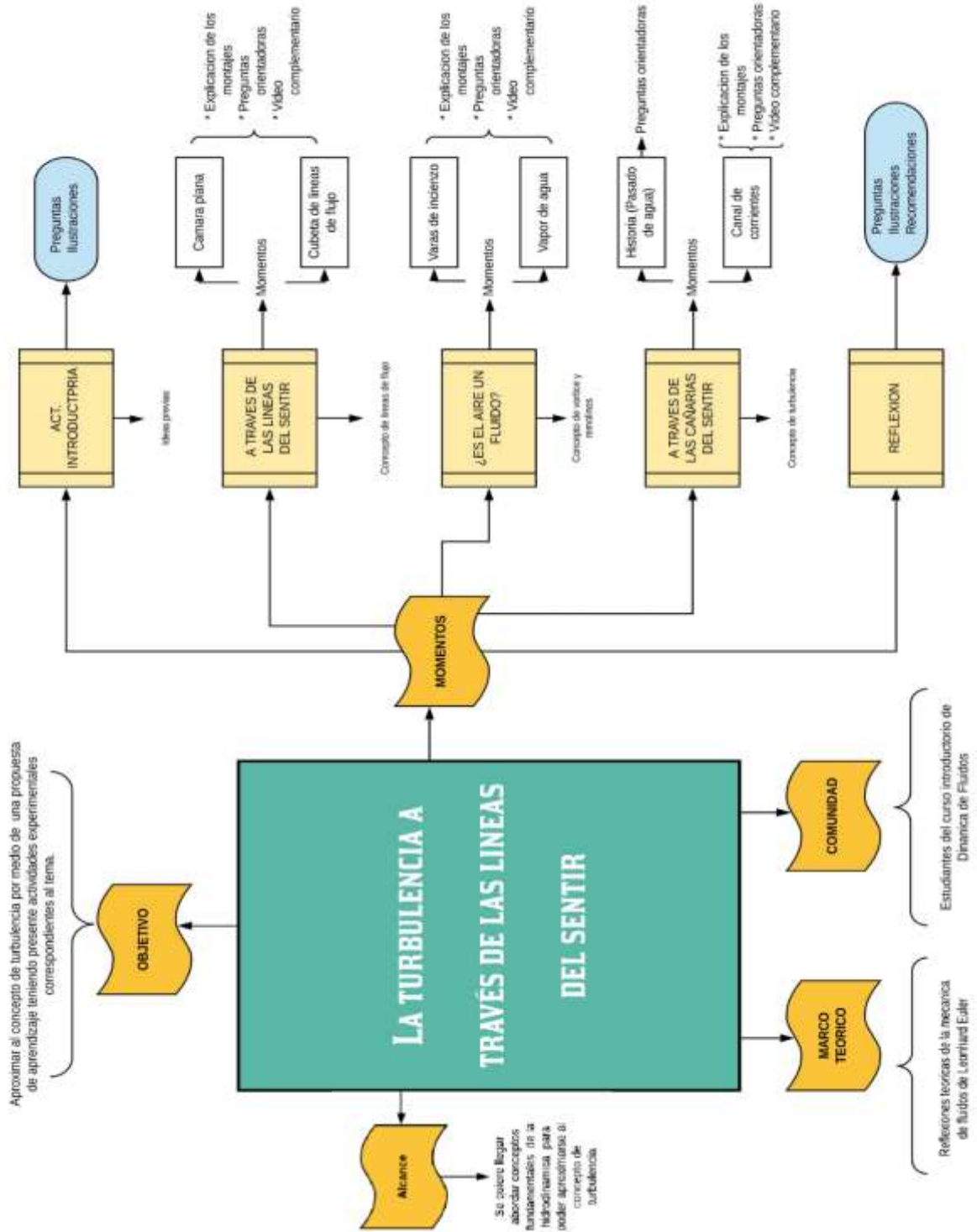
La presente propuesta de aprendizaje tiene como fin dar un acercamiento adecuado sobre el concepto de turbulencia, por medio, de interacciones con montajes experimental o experiencias de la vida cotidiana. Esta propuesta está pensada para estudiantes que estén abordando problemáticas de la mecánica de fluidos o diferentes espacios académicos que requieran una aproximación a los conceptos de la hidrodinámica, pero en específico, el concepto de turbulencia de una manera cualitativa. por ejemplo: los estudiantes de grado undécimo en la clase de física o estudiantes del departamento de física de la Universidad Pedagógica Nacional.

El alcance propuesto para esta estrategia es aproximar los conceptos fundamentales para la comprensión de la hidrodinámica. Para ello se presentan 4 momentos diferentes en los cuales cada uno se encuentra especificado en el anexo número cinco que se titula La turbulencia a través de las líneas del sentir.

Teniendo en cuenta el currículo ofrecido por el departamento de física de la Universidad Pedagógica Nacional, los estándares de aprendizaje, los lineamientos de aprendizaje y los derechos básicos de educación; se observa la necesidad de comprender los diversos fenómenos de los medios continuos, el cual, uno de sus tópicos es: la comprensión de los sistemas dinámicos y con ello los comportamientos turbulentos, donde, se desarrollan los conceptos propuestos a trabajar en la secuencia lúdica anteriormente presentada. Afirman Chaparro y grupo (2001) que la aproximación de estos conceptos cumple un papel fundamental en el desarrollo de la clase de física (p. 8). Es relevante mencionar, la importancia de abordar esta temática en el aula de grado undécimo, también los diferentes espacios académicos ofrecidos por el departamento de física, tales como: cálculo vectorial, al momento de analizar el comportamiento de los rotacionales o como tema a tratar en el tópico ofrecido de mecánica de fluidos, al momento de estudiar los diferentes fenómenos de la hidrodinámica.

Para tener una idea un poco más amplia observar el esquema número uno o información completa sobre esta propuesta se invita al lector a ver el anexo número cinco el cual consta de toda la propuesta de aula explícitamente.

Diagrama 1 Diagrama unidad didáctica



4. Capítulo IV Conclusiones

Gracias a los diferentes momentos de investigación propuestos en el presente trabajo de grado, se pueden dar a conocer las diversas reflexiones alcanzadas en cada uno de estos espacios teniendo presente la pregunta desarrolladora de este trabajo la cual es:

¿Cómo se puede evidenciar el fenómeno de la turbulencia a través de la práctica experimental y con ello generar un acercamiento hacia el aprendizaje de la dinámica de fluidos?

Puesto que, los cuatro ejes presentados y desarrollados dan cuenta de la importancia de la turbulencia como temática de aprendizaje en los diferentes espacios académicos, por consiguiente, se presentan los siguientes aportes y reflexiones que suministra este trabajo de grado.

4.1. Conclusiones de orden histórico.

- En el presente trabajo de grado se evidencia el papel trascendental que conlleva retomar fuentes primarias tales como: *Las memorias de Euler presentadas a la academia de Berlín (1752)* y *Principia Motus Fluidorum* (Euler, 1755), puesto que estas generan una mirada precisa sobre la mecánica de fluidos en específico el movimiento dinámico que tiene un fluido, obteniendo así, apreciaciones relevantes tales como: la clasificación de un fluido (real o ideal), la matematización correspondiente a los casos dinámicos y las reflexiones teóricas sobre el comportamiento de los fluidos, las cuales, fueron cruciales para el desarrollo y descripción del fenómeno de la turbulencia. ya que estas, dan un contexto problemático que el autor trabajo, indago y desarrollo proponiendo una posible solución sobre el comportamiento complejo de los fluidos.
- Gracias a la búsqueda, la recolección del material bibliográfico original, el proceso de traducción que se necesitó para el desarrollo del presente trabajo, aportó a los procesos metacognitivos del investigador al momento de apropiarse de la temática a trabajar, en el este caso la mecánica de fluidos, puesto que la búsqueda y la

apropiación de las diferentes reflexiones del autor principal (Euler) brindan herramientas preliminares para futuras investigación en el ámbito histórico crítico.

- Las culturas antiguas ya se preguntaban sobre los diversos comportamientos que podían presentar los fluidos. En el caso de la mecánica de fluidos, eran utilizados estos fenómenos para el manejo y el aprovechamiento del agua, tales como, los canales y acueductos romanos, el sistema de cañerías de riego, entre otros. puesto que estos generaron preguntas, observación y más a los pensadores del momento que se inspiraron para la comprensión de estos fenómenos de la naturaleza
- Uno de los grandes pensadores del renacimiento como lo fue Leonardo Da Vinci fue el primero en datar el comportamiento turbulento que se visualizaba en las cañerías y ríos de la ciudad, donde presenta la composición de este movimiento como fragmentos de remolinos a escala macroscópica y microscópica, es válido mencionar, que este pensamiento fue netamente teórico y que a la fecha se considera erróneo por las contemporáneas investigaciones.
- Grandes pensadores como lo fueron Leonardo Da Vinci, Isaac newton, entre otros, generaron una descripción, de los fluidos por medio de la experiencia sensible, donde presentan, los comportamientos microscópicos corpusculares como modelo principal para la comprensión de los movimientos que pueden llegar a tener las líneas de flujo. Dando así, las primeras apreciaciones teóricas robustas sobre la mecánica de fluidos, por ejemplo: la visualización de los fluidos como medio homogéneo y continuo, la caracterización de la viscosidad como resistencia del movimiento, la caracterización de los estados de los fluidos (líquido y gaseoso), entre otras.
- Leonhard Euler es uno de los pensadores que generó un antes y un después en la mecánica de fluidos, gracias a que retoma las diversas apreciaciones y reflexiones de sus antecesores como lo fueron: la explicación de la continuidad y homogeneización de un fluido, el comportamiento corpuscular de los líquidos y gases presentado por Newton, la caracterización del concepto de presión de Daniel Bernoulli, entre otros, para dar cuenta, en formas diferenciales y razonamiento físico, los diversos fenómenos que se pueden estudiar en los fluidos reales, dando

así, una aproximación apropiada de los diversos comportamientos de estos dando como resultado diversas inquietudes para el estudio de este tópico de la física.

- La construcción de corte conceptual que se presenta en este documento permite establecer criterios tales como: la importancia de la historia y el contexto para la comprensión de los fenómenos físicos, el asombro y el cuestionamiento como herramientas importantes para visualizar el mundo natural que posibilitan rutas para la enseñanza de la mecánica de fluidos, tal y como lo hicieron, los autores en su momento.

4.2. Conclusiones de orden teórico.

- Leonhard Euler mediante las diferentes apreciaciones teóricas de los medios continuos, las experiencias con la interacción de las turbomáquinas y la rueda de segner, las observaciones de los fluidos reales que se presentan en la naturaleza y las retroalimentaciones de sus colegas como se presentan en las discusiones de D'Alembert (1766) propone una matematización general sobre el comportamiento de los fluidos reales, dando como resultado, la verificación de la ecuación de continuidad en los comportamientos de los fluidos.
- Gracias a las reflexiones de Daniel Bernoulli sobre el concepto de presión, Leonhard Euler retoma esta problemática incompleta y por medio de las matematizaciones y modelos teóricos sobre la partícula fluida propone la versión actual del concepto de presión, la cual simplifica y denota como: relación que tiene la fuerza aplicada en un área transversal.
- El modelo Euleriano de los fluidos proporciona diversas herramientas conceptuales tales como la importancia de las variables de estado para la comprensión del movimiento de los fluidos, la matemática diferencial que tiene con base el cambio que poseen las variables de estado en un movimiento y la relación que conlleva la presión en los movimientos bruscos, dando como resultado una aproximación conceptual de los fenómenos en medios continuos, es válido afirmar, que esta postura nace en el boom newtoniano.

- El comportamiento de los fluidos se puede clasificar mediante una representación de la experiencia sensible del mundo natural, donde se evidencia que estos tienen en su mayoría un comportamiento brusco, éste se caracteriza por tener choques entre sus líneas de flujo, la no linealidad del movimiento y evidencia de múltiples remolinos en su recorrido es válido afirmar, que este fenómeno de la turbulencia es propio de las líneas de flujo, mas no, del fluido en sí.
- Al momento de visualizar el comportamiento de los fluidos se puede evidenciar que las variables de estado (Presión, densidad, viscosidad y más...) dan cuenta del comportamiento de un fluido real, es decir, gracias a la variación de estas se puede comprender y hacerse a una idea teórica de que tan turbulento puede tornarse el movimiento del fluido.
- Gracias a las consideraciones y reflexiones propuestas de Euler y otros autores del siglo XVIII se da la pertinente relevancia del comportamiento de los fluidos y se estipula este estudio como rama crucial de la física. Brindando así, investigaciones alrededor de la comprensión de los medios continuos y la aplicación de la hidrodinámica en diferentes campos de las ciencias naturales y la ingeniería.

4.3. Conclusiones y consideraciones de orden experimental

- Los diversos montajes experimentales representan una alternativa para el estudio del fenómeno de la turbulencia desde una perspectiva compleja, generando así una aproximación a este fenómeno estudiado y con ello diversos cuestionamientos del ¿Cómo? y el ¿Por qué? del comportamiento de los fluidos en una instancia real.
- Gracias a la reflexión presentada se puede afirmar que los montajes experimentales se pueden considerar como extensión de nuestros sentidos, dando como resultado una interacción más fina con el fenómeno a estudiar, en el este caso, los tres montajes experimentales presentados (Cámara plana, cubeta de líneas de flujo y canal de corrientes) dan cuenta del movimiento que pueden llegar a tener los fluidos en una instancia real.
- La importancia de la recuperación de los diferentes materiales del departamento de física de la Universidad Pedagógica Nacional que se encuentran en condiciones de

abandono. Con ello, se invita al lector al aprovechamiento de las diversas piezas y montajes que se encuentran para el desarrollo de futuras investigaciones con ejes experimentales.

- Al momento de realizar la correspondiente reparación y adaptación de los montajes experimentales se evidencia la complejidad de esta labor, puesto que esta, parte de la incertidumbre y de las diferentes habilidades que tenga el investigador para generar un funcionamiento óptimo de los instrumentos experimentales.
- Cada uno de los montajes experimentales desarrollados en el presente trabajo de grado requieren un trato y un mantenimiento diferente para visualizar el fenómeno a estudiar, ya que cada uno de ellos, tienen una intencionalidad académica diferente, aunque cada uno de ellos converge en la visualización del fenómeno de la turbulencia a diferentes escalas.

4.4. Conclusiones de orden didáctico

- El pertinente estudio de los medios continuos y en específico el fenómeno de la turbulencia, en los diferentes espacios y niveles académicos, es necesario. Puesto que esta problemática de la física clásica da cuenta de la representación que los estudiantes y el maestro pueden llegar a tener de su entorno natural y cómo ellos interactúan con éste para poder anclar las diferentes apreciaciones de los fluidos que se encuentran en el mundo natural.
- El uso de las actividades experimentales juega un papel primordial para la construcción de conocimiento, puesto que esta herramienta didáctica brinda el soporte de experiencia sensible sobre el tópico a estudiar de la física, dando como resultado, un acercamiento un poco más fino sobre el fenómeno a trabajar. Por otro lado, se puede afirmar que en el caso de la mecánica de fluidos en específico el fenómeno de la turbulencia, las actividades experimentales favorecen en la aproximación de esta problemática de la mecánica clásica, ya que las concepciones teóricas del comportamiento de los fluidos resultan algo engorrosa al momento de extraer este conocimiento en el aula de clase sin tener presente la experiencia sensible.

- Las actividades experimentales en el campo de la mecánica de fluidos posibilitan un acercamiento a los diferentes fenómenos de medios continuos, permitiendo así, diferentes niveles de extracción en los estudiantes para la comprensión del mundo natural, en el caso de la turbulencia, se puede evidenciar que favorecen al acercamiento y a la interpretación cuantitativa de este fenómeno de la física.
- El desarrollo de la presente estrategia didáctica brinda al investigador generar una estructura metacognitiva de nivel superior, que posibilita, una apropiación coherente y pertinente sobre el fenómeno de la turbulencia, que da como resultado, un manejo óptimo sobre el tópico trabajado y que con ello es capaz de divulgar a participantes o un grupo determinado de estudiantes que se encuentren interesados sobre esta problemática de la mecánica clásica.
- Es importante mencionar que el tópico de mecánica de fluidos es necesario llevarlo al aula de clase, dado que brinda herramientas metacognitivas a los estudiantes para que deconstruyan las nociones del comportamiento físico de los cuerpos fluidos al momento que se le aplica una fuerza dada, ya que éstos, tienen un comportamiento diferente con respecto a los sólidos.
- Gracias a la propuesta de aula se generan múltiples cuestionamientos tales como ¿Se puede evidenciar el comportamiento turbulento en el mundo natural?, ¿Qué sucedería si soy una gota de agua que está pasando por una turbulencia? ¿Los remolinos y las corrientes de agua se pueden considerar netamente como turbulencia?, ¿La turbulencia puede considerarse como caos?, entre otras, sabiendo que el comportamiento de los fluidos, a la fecha, se siguen estudiando y que gracias a estas preguntas se pueden generar múltiples investigaciones sobre este campo de la física, que, en este momento de la historia, aún se encuentra sin resolver.

5. Referencias bibliográficas

- Abrahams, I. (2009). Does practical work really motivate? A study of the affective value of practical work in secondary school science. *International Journal of Science Education*.
- Avila Torres, G. A. (30 de Noviembre de 2006). *La turbulencia, un fluido irregular y complejo*. Bogota D.C., Colombia: Universidad Pedagógica Nacional.
- Ayala M., M. M. (2006). *Los análisis historico-criticos y la recontextualizacion de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades*. Bogota: Universidad Pedagógica Nacional.
- Ballesteros Tajadura, R. (2005). *Turbulencia*. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Briggs, J., & Peat, D. (1994). *Espejo y Reflejo: Del caos al orden Guía ilustrada de la teoría del caos y la ciencia de la totalidad*. Barcelona: Gedisa S.A.
- Castillo Ayala, J. C. (30 de Enero de 2004). El concepto de corriente y la perspectiva dinámica. Bogota D.C, Colombia: Universidad Pedagógica Nacional.
- Chaparro, C., Mendez, N., Pedreros, R., & Sostoque, H. (2001). *Los Sistemas Dinámicos: una Perspectiva contemporanea para la enseñanza de la física*. Bogota: Universidad Pedagógica Nacional.
- Chitiva, J. A. (2013). Análisis conceptual en la mecánica de fluidos: Las líneas de flujo como concepto organizador. Bogota D.C., Colombia: Univerdidad Pedagógica Nacional.
- Dugas , R. (1988). *A history of mechanics*. New York: Dover Publications.
- Euler, L. (1755). *Principia Motus Fluidorum*. Berlín: Berlín Academy of Sciences.
- Fourez, G. (1994). Alfabetizacion científica y tecnologica . En G. Fourez, *Alfabetizacion cientifica y tecnologica* (pág. 60 a 81). Buenos Aires.
- Franklin, A. (1998). The experiment in Physisc. *Stanford Enciclopaediae*, 1-25.
- Gadotti, M. (2003). El pensamiento pedagogico fenomenologico-existencialista. En M. Gadotti, *Historia de las ideas Pedagógicas* (págs. 166-182). San Paulo: Siglo XXI editores, s.a. de c.v.
- García, L. I. (2016). *Turbulencia homogénea e isotrópica*. Medellin, Colombia: Uiversidad EAFIT.
- Gonzalez, J. J. (2017). *DESARROLLO CUALITATIVO DE LOS CONCEPTOS BÁSICOS DE LA MECÁNICA DE FLUIDOS: UNA APROXIMACIÓN AL PRINCIPIO DE BERNOULLI*. Bogota D.C., Colombia: Universidad Nacional De Colombia.
- Gutiérrez Chitiva, J. A. (2013). *Análisis conceptual en la mecánica de fluidos: Las líneas de flujo como concepto organizador*. Bogota D.C. : Universidad Pedagógica Nacional.
- Harré, R. (1986). *Grandes experimentos científicos*. Barcelona: Labor, S.A.
- Herrera Diaz, L. F., & Conde, A. (2001). Caos, Fluidos y Flujos. *Revista Ingeniería e investigación No 48*, 29-39.

- Ibarrola, E. (2009). *Introducción al flujo turbulento*. Córdoba: UNC.
- Jiménez Sendín, J. (2011). *LAS TEORÍAS DE LA TURBULENCIA*. Madrid: REAL ACADEMIA DE CIENCIAS.
- Liñán, A. (2009). Las ecuaciones de Euler de la mecánica. *Real Academia de Ciencias y Universidad Politécnica de Madrid*, 151-177.
- M. ARCA, P. G. (1990). Educación para el conocimiento y conocimiento común: El papel de los Enseñantes. En P. G. M. ARCA, *El desarrollo del proceso cognitivo como tarea de la educación* (págs. 1-18).
- Munevár Molina, R. A., & Quintero Corzo, J. (2000). INVESTIGACIÓN PEDAGÓGICA Y FORMACION DEL PROFESORADO. *OEI – Revista Iberoamericana de Educación*, 01-08.
- Nowacki, H. (2007). *Leonhard Euler and the Theory of Ships*. Moscú: Universidad De Moscú.
- Parra, T. (2013). Aprendizaje practico de mecánica de fluidos computacional utilizando TIC. *Actas – V Congreso internacional latina de comunicación Social – V CILCS – Universidad de la laguna, diciembre 2013* (págs. 01-07). Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Pineda, A. G. (2005). Análisis Conceptual de la dinámica de fluidos: fenómenos de vorticidad y vórtices. Bogotá D.C., Colombia: Universidad Pedagógica Nacional.
- Ramon Peralta , F. (1993). *Fluidos: Apellido de líquidos y gases*. Mexico D.C.: Fondo de Cultura Economico S.A.
- Ruelle, D., & Takens, F. (1971). On The Nature Of Turbulence. *Conférences de H. Brézis, D. Ruelle et F. Takens et un texte de R. Gérard et Mme A.* (págs. 1-44). Starasbourg: Numdam.
- Suay Belenguer, J. M. (2008). Los Molinos y las Cometas de Mr. Euler Le fils. *Quaderns D'Hisòria De L'Enginyeria*, 117-144.
- Thumper, R. (2003). The Physics Laboratory - A Historical Overview and Future Perspectives. *Science & Education*, 645-670.
- Truesdell, C. (1975). *Ensayis de la historia de la mecánica*. Madrid: Tecnos.
- Vazquez Garcia, F. (2013). *bibliospd*. Obtenido de LA FELICIDAD Y LA PEDAGOGÍA DEL AMOR UNIVERSAL DESDE UNA:
<https://bibliospd.files.wordpress.com/2016/01/ensayo-felicidad.pdf?fbclid=IwAR267C5LNLfOlnFkuAecXWrmM1A6MGSn84YNj84CngIDAWGZTiQBD8Y90Bc>
- Vennard, J. K. (1947). *Elementary Fluid Mechanics*. New York : WILEY.
- Zuluaga G. , O. L., & Echeverri S. , A. (2003). EL FLORECIMIENTO DE LAS INVESTIGACIONES PEDAGÓGICAS. En O. L. Zuluaga G. , A. Echeverri S. , A. Martinez B. , H. Quiceno C., J. Saenz O. , & A. Alvarez G. , *Pedagogia y Epistemologia* (págs. 73-109). Bogotá D.C.: Cooperativa editorial MAGISTERIO.

6. Anexos

6.1. Anexo 1. Biografía Leonhard Euler: La vida y la experiencia de un mundo matemático

Leonhard Euler: La vida y la experiencia de un mundo matemático

*Tomado de:
Castro, I (1988). El más prolífico en la historia
de la matemática Leonhard Euler
Pag (01-75)*

“Aunque el fin sea penetrar en el misterio íntimo de la naturaleza y de ahí a aprender las verdaderas causas de los fenómenos, puede suceder, no obstante, que una determinada hipótesis ficticia puede ser suficiente para explicar muchos fenómenos”

Euler Leonhard

Leonhard Euler nació en la ciudad de Basilea (suiza) el 15 de abril de 1707. Su padre Paulus Euler era un modesto pastor calvinista y a la vez matemático por afición; había sido discípulo de Jacob Bernoulli. Su madre Marguerite Frucker poco tuvo que ver en la orientación vocacional de Leonhard, pero Paulus quería que Leonhard también fuese pastor con el fin de estudiar teología, lo cual Leonhard fue inscrito a la universidad de Basilea en 1720. En este lugar conoció a Johann Bernoulli, quien debido a la muerte de Leibniz y al retiro de Newton de la actividad científica, era considerado como el más destacado matemático del instante.

Johann, pronto descubrió la extraordinaria capacidad de Leonhard y se dedicó a darle gratuitamente una hora semanal de enseñanza privada, además logró convencer a Paulus de que la verdadera vocación de su hijo estaba en la física y en la matemática.

A mediados de 1722 Euler se graduó de bachiller y dos años después obtuvo su título de maestro. Durante su permanencia en la universidad de Basilea, inició una asombrosa amistad con los hermanos Daniel y Nicolas Bernoulli, la cual fue de enorme importancia para

su vinculación al mundo científico. En 1726 publicó su primer trabajo titulado “*Constructio Lincarum isochronarum in medio quocunque resistente*”, esta memoria contribuyó a aumentar la gran admiración de Johann Bernoulli hacia él, ya que allí se ve claramente el estilo que siempre lo acompañó, el cual es descrito con mucha claridad en la siguiente expresión de Nicolas Caritat de Condorcet (1743-1794): “Cuando publica una memoria sobre un asunto nuevo, exponía con sencillez el camino que había recorrido haciendo observado sus dificultades y vericuetos, y luego ”.

En 1727 la academia de París le otorgó una mención honorífica por un trabajo que trato sobre la disposición óptima del mástil en los barcos de la vela. Aunque en esta oportunidad no gano, si lo hizo años después obteniendo el premio en doce ocasiones diferentes.

Desde el ingreso como docente de la universidad de brasilera, se presentó en 1727 como aspirante a una cátedra de física que se encontraba vacante. Con este fin elaboro un trabajo que título: *Dissertatio physica de sono*, pero no fue admitido debido a que lo consideraban demasiado joven puesto que para ese momento tan solo tenía veinte años. Gracias a lo sucedido Leonhard tomo la invitación de Nicolás y Daniel Bernoulli para ingresar a la Academia de San Petersburgo, la cual estaba bajo la protección de Catalina la Grande de Rusia, esposa de Pedro el Grande; pero desafortunadamente el día que llegó (7 de mayo de 1727) muere Catalina.

Su sucesor Pedro II, miraba la Academia como un lujo costoso y además de reducir el presupuesto, llegó a pensar seriamente en acabarla. Esta situación de incertidumbre, lo motivó a aceptar la oferta de enlistarse en la marina rusa, con el grado de lugarteniente; allí aprendió los principales aspectos relativos a la estructura y funcionamiento de las naves, llegando a convertirse en una verdadera autoridad en la ciencia naval. A la muerte del Zar en febrero de 1730, asumió el trono Anna I, quien fue más tolerante con el desarrollo científico. Euler abandonó la marina debido a que fue concedida la cátedra de física en la Academia de San Petersburgo.

Durante su primera instancia en San Petersburgo empezó su ilimitada producción científica. En los catorce años que permaneció en este lugar, escribió más de cien artículos los cuales tienen un eje principal en la mecánica (1736). En esta obra se presenta por primera vez los conceptos de partícula, aceleración de una partícula que se desplaza a lo largo de una

curva, vector velocidad y aceleración. El cual juega un papel fundamental esta mira de Euler, puesto que, por primera vez se presentó la totalidad de forma analítica la mecánica.

Gracias a esta mirada, se empezó a desarrollar como uno de los matemáticos más brillantes de su época; entabló amistad con los más destacados científicos de la Academia, empezando con Christian Goldbach (1690-1764), con quien mantendría posteriormente un importante intercambio de correspondencia, el cual desarrollarían varias áreas de la matemática del siglo XVIII tales como las formas diferenciales.

En 1733 Daniel Bernoulli renunció por motivos de salud a la cátedra de matemáticas y volvió a Baviera; Euler fue llamado para reemplazarlo. Ese mismo año se casó con Catherine Gsell, hija del pintor George Gsell, quien había sido llevado a Rusia por Pedro el Grande. Este matrimonio transcurrió con absoluta armonía; en él hubo trece hijos, los cuales cinco de ellos murieron siendo aún niños. El cariño que les tenía era inmenso; podía llegar a altos grados de concentración, sin inmutarse, aun cuando sus hijos estuvieran jugando alrededor suyo, e incluso lo hicieron partícipe de sus juegos.

Uno de los datos curiosos de este gran autor fue que en 1735 la Academia de ciencias de París, propuso un problema de astronomía, con el fin de que fuera resuelto en varios meses. Euler se dedicó durante tres días a solucionarlo. A pesar de que cumplió su objetivo, el esfuerzo que realizó en sus observaciones le trajo como consecuencia la pérdida de la visión del ojo derecho. Pese a esta calamidad, su producción científica en vez de disminuir aumentó día a día; los grandes biógrafos de Euler comentan que, en sus últimos cinco años de estancia en Rusia, tuvieron origen las ideas que lo condujeron a sus más grandes hallazgos. Su capacidad de análisis era sorprendente pero fundamentalmente se distinguió como el matemático más hábil para la creación de algoritmos, que jamás haya existido.

A finales de la década del treinta del siglo XVIII, la fama de Euler había trascendido las fronteras rusas y ya era considerado como el matemático más brillante del momento.

El 28 de octubre de 1740 murió la Zarina Anna y como consecuencia de esto se presentó una situación de incertidumbre, debido a las diferentes luchas políticas internas que cruzaba Rusia en este momento por el poder. El resultado de estas luchas llega al momento de la ascensión al trono de Elizabet I el 16 de diciembre de 1741, pero ya era tarde puesto que Euler

temeroso de lo que sucedió anteriormente en sus primeros años en Rusia, decidió aceptar la invitación de Federico II (*Llamado el grande*) para que se vincula a la cátedra de Ciencias ofrecida por la Sociedad de Ciencias que se encuentra en Berlín, es válido mencionar que esta fue fundada por Leibniz en 1700. Observando la decisión tomada por Euler los rusos hicieron todo lo posible para retenerlo lamentablemente estos no tuvieron éxito, pero si lograron convencerlo de aceptar seguir ayudando con las publicaciones de la Academia Imperial, ofreciéndole anualmente un estipendio como retribución.

Al llegar a Berlín, el 25 de julio de 1741 encontró el reino sumido en la guerra (*la primera guerra silicia*) y aunque se le dio un tratamiento preferencial, no fue posible iniciar su cátedra en la Sociedad, debido a que en ese momento estaba pasando por la peor crisis desde su fundación, por tal razón se dedicó a escribir e impartir clases privadas a miembros de familias nobles, entre las cuales merece ser mencionada la princesa Filipina Von Schwendt de la casa Anhalt-Dessau nieta del rey de Prusia; debido a los diferentes conflictos estas tutorías fueron interrumpidas de manera presencial en 1760, Euler tratando de cumplir con sus obligaciones académicas completa por escrito estas clases, naciendo de esta forma sus famosas "*Lettres a une princese d'Allemagne*" (Cartas a una princesa alemana), obra que es considerada como la primera enciclopedia de física que se haya elaborado. Este documento está compuesto por tres tomos publicados en Rusia, el primero en 1768 y el último en 1772.

En estos documentos, tratan temas tales como, mecánica, óptica, sonido y astronomía, donde indirectamente presenta algunas reflexiones sobre cosmología y moral. Fue tan grande la acogida de estos libros que se tradujeron a siete idiomas. La astronomía fue considerada como la verdadera profesión de este gran genio universal. Desde su llegada a San Petersburgo, entablo amistad con Delisle Joseph Nicholas (1688- 1768) uno de los más eminentes astrónomos franceses del momento, este gozaba de una gran fama puesto que determinó las coordenadas heliocéntricas de las manchas solares, y en 1726 fundo la escala de astronomía de San Petersburgo, donde Euler colaboró enormemente con Delisle; es así como aparecen aproximadamente quinientos libros y manuscritos de este astrónomo mediante la ayuda de Euler, puesto que en estos documentos se observan las apreciaciones de Leonhard en los campos de la trigonometría esférica, el análisis geométrico y la probabilidad.

Cabe resaltar que en 1977 se hallaron, en los archivos de la Academia de la Ciencia de la U.R.S.S., los escritos de astronomía de Euler durante sus primeros veintiún años de permanencia en San Petersburgo, en ello se evidencia el trabajo dedicado, juicioso y consciente de las observaciones tomadas dos veces al día durante diez años consecutivos. En la memoria titulada “*Methodus computando aerationem meridiei*” publicadas en 1735, Euler encontró un método para calcular las tablas de la ecuación meridional del sol. Gracias a esta mirada y a su dominio de los métodos analíticos, también contribuyó a que Delisle encontraría las líneas de trayectoria de los cometas.

En 1747 publicó una memoria titulada “*Recherches sur le mouvement des corp celestes en general*”, en ella resolvió el llamado problema inverso de Newton; esto es, a partir de la segunda ley de Newton y de la ley de gravitación universal, dedujo la primera ley de Kepler. Aunque Newton ya había demostrado eso para ese instante, Euler dio una prueba distinta donde relaciona la cantidad de movimiento y la variación del tiempo.

Teniendo en cuenta el gran conflicto que está viviendo en su momento Berlín Federico II en 1741 nombra a Maupertuis como presidente de la sociedad de ciencias con el fin de poder reconstruir esta gran comunidad, pero gracias al conflicto vivido en el instante estos esfuerzos fueron insuficientes para restaurar la sociedad, por tal razón, un grupo de destacados científicos, entre los cuales estaba Euler, decidió establecer una academia privada el primero de agosto de 1743. Este hecho indujo al rey a crear una corporación científica capaz de competir con las existentes en París, Londres y San Petersburgo. Así nació la Academia de Ciencias y Bellas Letras de Berlín, el 24 de enero de 1744. Ocho días antes había sido disuelta la privada. Euler fue llamado de inmediato para dirigir la clase de matemáticas y Maupertuis, fue nombrado su primer presidente.

En 1748, utilizo las tres leyes de Newton y la ley de gravitación universal, realizó un trabajo titulado “*Recherches sur la question des inégalités du mouvement de Saturne et de Jupiter, sujet propose pour le Prix l’année*”, en el cual estudió las perturbaciones mutuas de los planetas y obtuvo el reconocimiento de la Academia de París. También para esta misma fecha publicó en Lausana, el primero de sus tres grandes tratados sobre el cálculo “*Introductio in Analysin infinitorum*” esta obra, catalogada como una de las más importantes en la historia del cálculo infinitesimal y la geometría analítica, recoge ciertos resultados que

había escrito en sus papeles anteriores, presenta nuevos aportes y desarrolla algunos de los principales conceptos que, sobre el tema, habían obtenido sus predecesores (Newton, Leibniz y los Bernoulli).

La Academia de Ciencias de Berlín fue prolífica en sus publicaciones científicas, basta decir que desde 1745 a 1769 se editaron veinticinco volúmenes de su revista titulada *Historie del' Academie des Sciences et Belles Lettres de Berlín*. Con el fin de crear una nueva publicación, en este caso sobre filosofía, se abrió como concurso en 1745 sobre la doctrina leibniziana de las mónadas. Euler fue nombrado jurado en este concurso, pero cometió el error de publicar en 1746 una memoria titulada *Consideraciones acerca de los elementos de los cuerpos*, la cual, aunque anónima, para todos era obvio el hecho de que él la había escrito. Gracias a este documento, se generaron ciertas discusiones alrededor de los puntos tratados puesto que Maupertuis y Samuel König se encontraban a favor de las primeras capitulaciones.

La situación fue agravándose paulatinamente, ya que König afirmó que el principio de Maupertuis de la menor acción, lo había planteado Leibniz en una carta del 16 de octubre de 1707, de la cual sólo existía una copia; pero Euler manifestó que dicha carta era un plagio, y König se defendió en un documento publicado en 1752. A pesar de los inconvenientes antes mencionados, Euler continúa su enorme producción científica, es así como en 1752 publicó, un importante trabajo sobre mecánica de fluidos, cuyo título fue: *Principia Motus Fluidorum*, en donde expuso los principios básicos de esta teoría. Desde el punto de vista matemático fue de enorme utilidad, ya que en ella se utiliza el cálculo de varias variables con una notación clara y bien fundamentada.

Una de las curiosidades que Euler mantenía en este trayecto de su vida fue la afición a la teoría de los números, puesto que a ella le dedicaba sus tiempos libres; generando un dominio admirable de esta disciplina dándole el prestigio que tanto lo caracterizó.

En 1755 se publica en San Petersburgo su trabajo *Indtitionen calcul differentialis*. Esta obra está dedicada al estudio del cálculo diferencial, y aunque es una de sus producciones más ricas en algoritmos, se caracteriza por ser inexacta en el manejo de los diferentes conceptos; su notación es imprecisa y desconcierta a los actuales matemáticos. En el prólogo se puede percibir, como el autor asocia el concepto de función, a la relación existente entre

los incrementos de las variables dependientes e independientes, cuando afirma “*Una cantidad es función de otra, cuando varia al variar otra*”.

En San Petersburgo no se habían olvidado de Euler. Cuando el ejército ruso invadió Prusia en 1760, la casa de campo de Euler fue saqueada, al enterarse de esto el general ruso exclamó que “*no hacía la guerra a la ciencia*” por tal razón Euler fue indemnizado con una suma superior al valor de las pérdidas. Por otra parte, la emperatriz Isabel, le envió una suma de cuatro mil florines en carácter de obsequio.

A pesar de ser Euler el matemático de mayor prestigio del momento, el rey no le ofreció el cargo de presidente de la Academia, que había dejado vacante Maupertuis y por el contrario llamó a Berlín al destacado geómetra francés Jean- Le-Rond D’Alembert (1717-1783), para que ocupara el importante cargo. Este hecho representaba una doble ofensa a Euler, ya que además de ser la persona que más méritos tenía para ser presidente de esta prestigiosa Academia, estaba en ese momento enfrentado a D’Alembert, en una discusión sobre el problema de las cuerdas vibrantes.

D’Alembert comprendió la jugada del rey, y valientemente resolvió manifestarle que sería un ultraje colocar en este puesto, a otro matemático que no fuera Euler. Irritado Federico, acentuó su prevención hacia los matemáticos y en particular contra el genio de Basilea, llegando a convertirse la situación en intolerancia, tanto para Euler como para su familia; a este hecho se suma que sus hijos no tenían grandes posibilidades de éxito en Prusia y por tal razón, resolvió aceptar el ofrecimiento de Catalina la grande II, para ser director de la Academia de San Petersburgo, con condiciones económicas bastante favorables para él y para sus hijos. El diecisiete de marzo de 1766 solicitó el permiso a Federico II, pero este lo negó. Euler insistió nuevamente alegando que era ciudadano suizo y finalmente el tres de mayo el rey accedió.

En su viaje desde Berlín a San Petersburgo, paso por Varsovia, en donde fue tratado con innumerables demostraciones de afecto, por parte de la familia real.

Llegó a su destino el diecisiete de julio de 1766, en donde fue recibido por Catalina II la Grande, quien le ofreció una bienvenida digna de un monarca y además puso a su disposición una magnífica casa, en donde pudieron instalarse cómodamente Euler y los

dieciocho miembros de su comitiva. Como una prueba de afecto de Catalina hacia él, le cedió su mejor cocinero.

Los primeros años de su regreso a Rusia, se vieron ensombrecidos por una verdadera racha de mala suerte, la cual no solo lo golpeo a él como individuo, sino también afecto el desarrollo científico. La primera de estas tragedias fue el naufragio del barco que transportaba sus objetos desde Berlín. En este accidente se perdieron la mayoría de los manuscritos de sus trabajos, entre los cuales estaban algunos que aún no se habían publicado. Desde su llegada empezó a verse afectado por una catarata en el ojo izquierdo, que lo fue dejando paulatinamente ciego. Ante la angustia y consternación que causó este hecho, se hizo necesario someterlo a una operación, pero lamentablemente se produjo una infección que lo dejó totalmente ciego.

No había pasado cinco años de su regreso a San Petersburgo, cuando su casa fue víctima de un incendio, quemándose todas sus pertenencias. Euler estuvo a punto de morir preso de las llamas, pero gracias al heroísmo de un fiel sirviente suizo (Peter Grimm), quien, arriesgando su propia vida, logró salvarlo. Nuevamente la mano protectora de la Emperatriz Catalina logró reparar los gastos con suficiente generosidad. Por otra parte, un miembro de la nobleza, el Conde Orloff, se propuso la tarea de recuperar los manuscritos, y con la colaboración de especialistas, logró salvarlos todos.

Su mujer que había sido su principal soporte murió en 1766. Ciego y deprimido encontró en Salomé Abigail Gsell, quien era medio hermana de su esposa, la persona que podía llenar el vacío dejado por ésta. Es así como se casaron en 1777, contando Euler con setenta años. La colaboración y el estímulo que le prestaron sus familiares, amigos y discípulos fueron definitivos para que pudiera seguir adelante en su investigación; de tal forma que logró escribir en este último periodo de su vida, cerca de la mitad de su producción científica.

Al quedar ciego Euler, obviamente se imposibilitó para poder escribir. Debido a esto, tuvo que apoyarse en otros para que transcribiera lo que él les dictaba. Como es lógico, estas personas deberían tener una sólida formación matemática. En primer lugar, Juan Alberto Euler (1734-1800), quien ya era considerado como un buen matemático, abandonó completamente en 1776 su producción intelectual, para dedicarse a colaborarle a su padre.

Juan Alberto tenía una mayor inclinación por la aplicación de la matemática. Sus escritos, están influenciados por los trabajos de su padre, a tal punto que, en la presentación de la edición de las obras completas de Leonhard, se incluyeron las memorias de su hijo.

Debido a la importancia de estos trabajos, obtuvo seis premios, uno en Göttingen en 1754, dos en San Petersburgo en 1755 y 1760, uno en Múnaco en 1762 y dos en París en 1761 y 1770. Fue miembro ordinario de las Academias de Berlín (1754), de Múnaco (1762) y de San Petersburgo (1766), tres años después fue elegido secretario de dicha academia. A la muerte de Leonhard ocupó el lugar dejado por él, en la academia de París.

Otro de los soportes de Leonhard durante este periodo, fue el también matemático suizo Nicolas Fuss (1755-1826) quien, habiendo sido alumno destacado de Daniel Bernoulli, fue enviado por su maestro para que sirviera de secretario de Euler a partir de 1773. Logró tal compenetración con Leonhard, que la mayoría de las 335 memorias de Euler en el periodo 1773-1782 fueron escritas por él.

Euler fue un hombre de profundas convicciones religiosas, llegando a pensar en poder encontrar una demostración algebraica de la existencia de Dios. Era tal su prestigio que sus contemporáneos pensaron que si la tenía.

El 18 de septiembre de 1783, después de haber cenado con su discípulo y amigo, el geómetra y astrónomo finlandés, Andrés Juan Lexell, Euler se sentó a tratar de calcular la órbita del planeta Urano, el cual acababa de ser descubierto. Uno de sus nietos se acercó a jugar con él y cuando trato de responder a los requerimientos del niño, sufrió un fulminante ataque al corazón que solo le permitió decir dos palabras “*Me Muero...*”; siendo esta forma aleve, el único camino, al cual tuvo que recurrir la naturaleza, para poder poner alto a la ilimitada producción científica de este genio universal.



Imagen 11. Pintura de Leonhard Euler.

Fuente: <https://personajeshistoricos.com/c-cientificos/Leonhard-euler/>

6.2. Anexo 2: Ponencia Euler, una gota en el mar de la historia

XVI Semana de la Enseñanza de la Física
Memorias SEF Vol. 2: 1-4 (2019)



EULER, UNA GOTA EN EL MAR DE LA HISTORIA

Modalidad Ponencia

Daniel Cruz Goyeneche¹⁵, Yecid Javier Cruz Bonilla¹⁶

^{1,2} Universidad Pedagógica Nacional

Recibido: si Aceptado: si Publicado: si
Todos los derechos reservados SEF©2013

Abstract. Given in history great moments in understanding the phenomena of continuous means, we will stop at one of the most relevant authors of the eighteenth century. Since this, I develop a fundamental view for the understanding of the different experiences regarding fluids, which was Leonhard Euler (1707-1783). Thanks to the reflections and proposals proposed by him, a timelier approach was generated to the different problems of continuous means.

Keywords: Euler, Real Fluids, Fluid Mechanics, Dynamic Systems.

Resumen. Dado en la historia grandes momentos al comprender los fenómenos de medios continuos, nos detendremos en uno de los autores más relevantes del siglo XVIII. Puesto que este, desarrollo una mira fundamental para la comprensión de las diferentes experiencias respecto a los fluidos, el cual fue Leonhard Euler (1707- 1783). Gracias a las reflexiones y propuestas por él, se generó un acercamiento más oportuno a las diferentes problemáticas de los medios continuos.

Descriptores: Euler, Fluidos reales, Mecánica de fluidos, Sistemas dinámicos.

1. Introducción

En el presente escrito se dan a conocer algunas reflexiones alcanzadas en el trabajo de investigación *La turbulencia una mirada del sentir mecánico y experimental*, que a la fecha aún se encuentra en su última fase desarrollo, puesto que este, desarrolla el concepto de

¹⁵ dfi_dcruzg186@pedagógica.edu.co

¹⁶ ycruz@pedagógica.edu.co

turbulencia a partir de las apreciaciones teóricas, el desarrollo matemático y algunas críticas dadas por Euler en el siglo XVIII sobre este comportamiento. De igual forma, en el presente documento nos dedicaremos a manifestar únicamente las consideraciones que Euler da a conocer a la academia de Berlín en 1745 y su trabajo publicado en 1752 titulado *Principia Motus Fluidorum*. Ya que estos trabajos de Leonard Euler sobre el desarrollo de las ecuaciones de un fluido comprensible no viscoso en dos y tres dimensiones, afirma Ávila (2006) que este trabajo da luz a la dinámica de fluidos como rama de la física en el siglo XVIII.

A continuación, se presentará de manifiesto los aportes de Euler a la ciencia, puesto que en estos encontramos análisis y construcciones aritméticas que apoyan el escurridizo campo del conocimiento de la física, cabe aclarar que sus aportes fueron lo suficientemente fuertes para estructurar un poco más el campo de la mecánica de fluidos. Nos presenta Dugas (1988) que este gran autor fue quien nos dio a conocer cómo utilizar la segunda ley de Newton para determinar la aceleración de un cuerpo, cabe aclarar que este lo expone para masas puntuales.

2. Leonhard Euler

Leonhard Euler nació en la ciudad de Basilea (suiza) el 15 de abril de 1707. Su padre Paulus Euler era un modesto pastor calvinista y a la vez matemático por afición; había sido discípulo de Jacob Bernoulli. Su madre Marguerite Frucker poco tuvo que ver en la orientación vocacional de Leonhard, pero Paulus quería que Leonhard también fuese pastor con el fin de estudiar teología, por tal motivo Leonhard fue inscrito a la universidad de Basilea en 1720. En este lugar conoció a Johann Bernoulli, quien debido a la muerte de Leibniz y al retiro de Newton de la actividad científica, era considerado como el más destacado matemático del instante.

Johann, pronto descubrió la extraordinaria capacidad de Leonhard y se dedicó a darle gratuitamente una hora semanal de enseñanza privada, de tal manera logró convencer a Paulus de que la auténtica vocación de su hijo estaba en los campos de la física y la matemática.

A mediados de 1722 Euler se gradúa de bachiller y dos años después obtuvo su título de maestro. Durante su permanencia en la universidad de Basilea, inicio una asombrosa amistad con los hermanos Daniel y Nicolas Bernoulli, la cual fue de enorme jerarquía para su vinculación al mundo científico. En 1726 publicó su primer trabajo titulado "*Constructio Lincarum isochronarum in medio quocunque resistente*", esta memoria contribuyo aumentar la gran admiración de Johann Bernoulli hacia él, ya que allí se observó claramente el estilo que siempre lo caracterizo. Afirma Castro (1988) que Nicolas Caritat lo describía con mucha claridad en la siguiente expresión "*Cuando publica una memoria sobre un asunto nuevo, exponía con sencillez el camino que había recorrido haciendo observado sus dificultades y vericuetos, y luego*".

Durante su primera instancia en San Petersburgo empezó una ilimitada producción científica en los catorce años que permaneció en este lugar, escribió más de cien artículos los cuales tienen un eje principal en la mecánica. Esta obra se presenta por primera vez los conceptos de partícula, aceleración de una partícula que se desplaza a lo largo de una curva, vector velocidad y aceleración. El cual juega un papel fundamental este tipo de mira de Euler puesto que por primera vez se expone en su totalidad de forma analítica la mecánica

Al llegar a Berlín, el 25 de julio de 1741 encontró el reino sumido en la guerra (la primera guerra silicia) y aunque se le dio un tratamiento preferencial, no fue posible iniciar su cátedra en la Sociedad, debido a que en ese momento estaba pasando por la peor crisis desde su fundación, por tal razón se dedicó a escribir e impartir clases privadas a miembros de familias nobles, entre las cuales merece ser mencionada la princesa Filipina Von Schwendt de la casa Anhalt-Dessau nieta del rey de Prusia; ya que al ser interrumpidas en 1760, Euler las completó por escrito, naciendo de esta forma sus famosas “Lettres a une princese d’Allemagne” (Cartas a una princesa alemana), obra que es considerada como la primera enciclopedia de física que se haya elaborado. Está compuesta por tres tomos publicados en Rusia, el primero en 1768 y el último en 1772.

En 1748, utilizó las tres leyes de Newton y la ley de gravitación universal, realizó un trabajo titulado “*Recherches sur la question des inégalités du mouvement de Saturne et de Jupiter, sujet propose pour le Prix l’année*”, en el cual estudió las perturbaciones mutuas de los planetas y obtuvo el reconocimiento de la Academia de París. También para esta misma fecha publicó en Lausana, el primero de sus tres grandes tratados sobre el cálculo “*Introductio in Analysin infinitorum*” esta obra, catalogada como una de las más importantes en la historia del cálculo infinitesimal y la geometría analítica, recoge ciertos resultados que había escrito en sus papeles anteriores, presenta nuevos aportes y desarrolla algunos de los principales conceptos que, sobre el tema, habían obtenido sus predecesores (Newton, Leibniz y los Bernoulli).

Una de las curiosidades que Euler mantenía en este trayecto de su vida fue la afición a la teoría de los números, puesto que a ella le dedicaba sus tiempos libres, él, dominaba los resultados y reflexiones más importantes que sobre este tema en este periodo.

Euler fue un hombre de profundas convicciones religiosas, llegando incluso a pensar en poder encontrar una demostración algebraica de la existencia de Dios. Era tal prestigio del que gozaba que sus contemporáneos pensaron que si la tenía.

El 18 de septiembre de 1783, después de haber cenado con su discípulo y amigo, el geómetra y astrónomo finlandés, Andrés Juan Lexell, Euler se sentó a tratar de calcular la órbita del planeta Urano, el cual acababa de ser descubierto. Uno de sus nietos se acercó a jugar con él y cuando trató de responder a los requerimientos del niño, sufrió un fulminante ataque al corazón que solo le permitió decir dos palabras “Me Muero...”; siendo esta forma el único camino, que le dejó a la naturaleza, para poder poner alto a la producción de este genio universal.

3. Euler, una mirada a través de la gota de la realidad

Teniendo en cuenta el contexto anteriormente presentado, iniciaremos ahora valorando los diferentes aportes de Euler a las ciencias exactas, ya que encontramos diversos análisis y construcciones aritméticas que sustentan un gran campo escurridizo del conocimiento, puesto que sus apreciaciones fueron lo suficientemente fuertes para estructurar un poco más el campo de la física.

Nos presenta Liñán (2009) que este gran autor fue quien nos mostró como utilizar la segunda ley de Newton para determinar la aceleración de un cuerpo, cabe aclarar que este lo

desarrolla para masas puntuales, en consecuencia, presenta algunas reflexiones del campo de la mecánica de fluidos. Inicialmente, encontraremos una primera propuesta desarrollada por Euler en 1755 entregado a la academia de Berlín, puesto que esta, presenta el estado de equilibrio de un fluido, donde se puede caracterizar que un fluido se considera como un sistema comprensible o no, el cual podía ser sometido a una fuerza perpendicular dada.

La problemática que abordaba este gran pensador sobre el estado de un fluido estática, no la cita Dugas que “*La fuerza que actúa sobre todo el fluido conlleva una relación en cada punto entre la densidad y la elasticidad del fluido*” (Dugas, 1988, pág. 300) de igual forma, afirma Liñán (2009) que en 1752 aparece por primera vez la reflexión del concepto de presión, el cual actualmente seguimos utilizando, donde Euler considera que es la relación que existe entre la fuerza perpendicular aplicada en un área determinada de la masa puntual, puesto que esta reflexión fue generada para poder describir el comportamiento de una partícula en estado inercial, En otras palabras, un estado de equilibrio se puede considerar cuando su presión es igual a acero, por consiguiente, la sumatoria de fuerzas alrededor de la unidad de solución es cero. Para visualizar mejor esta idea ver la figura número uno.

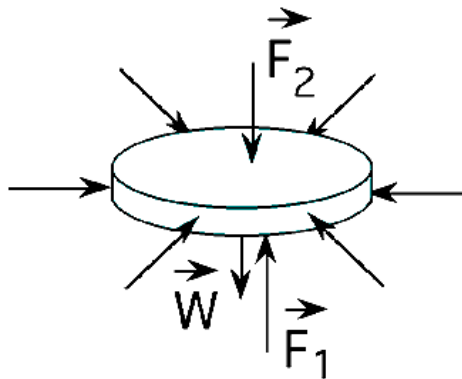


Figura 1: Representación gráfica de las fuerzas aplicadas en una partícula fluida.

Teniendo en cuenta el punto anterior Euler propone un paralelepípedo rectangular elemental, con un saliente en el punto Z , de coordenadas x, y, z con aristas dx, dy y dz , observar Figura dos. Liñán (2009) argumenta que esta consideración tuvo un papel fundamental en la restricción que posibilita la incompresibilidad del fluido que aplica al movimiento. Dugas (1988) por otra parte menciona que Euler afirma que cualquier parte del fluido no puede ser forzada a ocupar un volumen menor, por ende, su continuidad no puede ser interrumpida llegando así a la ecuación de continuidad (Ecuación uno), donde u, v, w son las componentes de la velocidad de una partícula fluida, mostrando así que la idea de un medio continuo.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad [1]$$

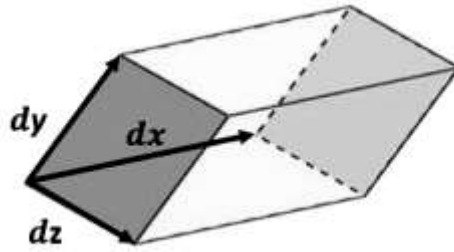


Figura 2: Ilustración del paralelepípedo elemental propuesto por Euler

Euler plantea esta concepción para el desarrollo de los principios generales del movimiento de fluidos ideales incompresibles en 1755 en su memoria *Principia Motus Fluidorum*, donde utiliza referencias cartesianas para sus componentes de velocidad, en función de un tiempo t determinado, las cuales son x , y , z . Gracias a las consideraciones del movimiento genera la necesidad de calcular la presión p un punto determinado, con la cual, las partículas del fluido interactúan mutuamente entre ellas, Afirma Liñán (2009) que esta presión no es la misma en todas las partes, por consecuencia la acción de estas partículas se traduciría en el cambio del movimiento, a esta consideración del movimiento de los fluidos se denomina Euleriana, aunque la propuesta por Lagrange sobre el movimiento, fue también generada por Euler, pero nunca divulgada, él consideraba que la posición de cada partícula fluida sustituye la velocidad como variable cinemática independiente, la cual está dada, en función del tiempo en sus tres coordenadas x' , y' , z' que caracterizan su posición inicial.

4. Conclusiones

Gracias al desarrollo del presente documento podemos decir que reconocemos toda la trayectoria de vida de Leonhard Euler presentándolo como uno de los grandes pensadores de la humanidad, ya que, genero más de cuatrocientos artículos y reflexiones sobre el mundo físico y aritmético. Hasta la fecha que se desarrolla este documento, aún la academia de Berlín y la universidad de Moscú cuentan con algunos originales de Leonard sin publicar, mostrando así, la inmortalidad y la profundidad de sus reflexiones a través de la historia de la humanidad.

Leonard Euler fue uno de los autores más relevante para la física y matemática del siglo XVIII, aunque en el occidente no tengamos presente en su totalidad las diferentes propuestas sobre las ciencias exactas, evidenciamos y reconocemos la importancia de este autor para el estudio de la mecánica de fluidos, los medios continuos, el desarrollo aritmético diferencial, entre otras áreas del saber de la ciencia, puesto que él, genera reflexiones profundas sobre el comportamiento del mundo natural desde una perspectiva no convencional.

Cabe aclarar que el desarrollo propuesto en este documento, a través de la postura Euleriana, se torna desde una mirada clásica de la física fundamental, puesto que, estas

reflexiones realizadas por Euler son el solvente base de las teorías y reflexiones actuales en las diferentes ramas de la física desde una perspectiva teórica y experimental.

5. Agradecimientos.

Agradecemos a la Universidad Pedagógica Nacional por ofrecer los diferentes espacios de reflexión para el desarrollo de esta ponencia y a la Universidad Distrital por generar este espacio de divulgación y reconocimiento de diversas actividades investigativas en el campo de las ciencias exactas y la educación.

6. Referencias

Avila Torres, G. A. (30 de Noviembre de 2006). La turbulencia, un fluido irregular y complejo. Bogota D.C., Colombia: Universidad Pedagógica Nacional.

Castro Chadid, I. (1988). *El más prolífico en la historia*. Bogota D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.

Dugas , R. (1988). *A history of mechanics*. New York: Dover Publications.

Liñán, A. (2009). Las ecuaciones de Euler de la mecánica. *Real Academia de Ciencias y Universidad Politécnica de Madrid* , 151-177.

Nowacki, H. (2007). *Leonhard Euler and the Theory of Ships*. Moscú: Universidad De Moscú.



**UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**
Facultad de Ciencias y Educación



SEMANA DE LA
ENSEÑANZA DE LA
FÍSICA

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas y la Facultad de Ciencias y Educación certifica a:

Daniel Cruz Goyeneche

Quien participó como

Ponencia: Euler una gota de mar en la historia

en la *Semana de la Enseñanza de la Física SEF-2019*, organizada por el Proyecto Curricular de Licenciatura en Física PCLF,
del 24 al 27 de septiembre de 2019, Bogotá-Colombia.

Giovanni Cardona Rodríguez
Coordinador PCLF

Ignacio Alberto Monroy
Comité Organizador SEF-2019

6.3.Anexo 3: Diario de reparación de los montajes

Diario de Reparación de máquinas

6.3.1. Cubeta de líneas de flujo.

- 17 de abril del 2018 (Búsqueda)

En las horas de la mañana, me dirigí al laboratorio del departamento de física en el cual el encargado me comentó que había un montaje sobre fluidos en el inventario, cabe aclarar que el encargo no sabía en qué lugar del departamento se encontraba, es así como en horas del mediodía comienza mi búsqueda en los diferentes salones del departamento hasta llegar al salón B217.

En este salón, en una de sus gavetas, se encontraba en un rincón una cubeta con un pequeño tanque (ilustración 22). Esta cubeta se encontraba en medio de cristalería rota y otros materiales, inmediatamente me di a la tarea de sacarla este montaje completo y pedir el favor al encargado del laboratorio que las guardara en un lugar seguro.



Imagen 22. Fotografía cubeto de líneas de flujo.

Fuente: Fuente propia

- 24 de abril 2018 (Primera limpieza)

En horas de la mañana le solicite al encargado del laboratorio las dos partes de la máquina, las cuales, se encontraban en unas condiciones favorables, pero necesitaban mantenimiento

para un buen funcionamiento. Lo cual me coloque en la tarea de hacer dicho procedimiento. Primero lavé con cuidado las dos piezas, en el caso de la cubeta tuve mayor precaución al momento de limpiarla puesto que los tubos capilares de esta no tenían que ser afectados, cabe aclarar que algunos de ellos se encontraban torcidos.

Después de la limpieza, comencé a enderezar cada uno de los tubos capilares que lo necesitaran; reforcé los tornillos (Postes) que hacen que el desagüe la máquina sea con mayor facilidad. En el caso del tubo de paso de tinta, agregó un poco de desengrasante para quitar la suciedad que se encontraba dentro de él y los tubos capilares. Al finalizar este procedimiento seque muy bien todas las partes del montaje dando así por terminado el mantenimiento. por consecuencia procedí a armar todo el montaje.

- 04 de mayo del 2018 (Armar la máquina)

En horas de la tarde solicite las piezas (cubeta y tanque) al encargado del departamento, pero, estas piezas no eran la totalidad del montaje para hacerlo funcionar. En lo cual, me di a la tarea de solicitar y buscar los demás materiales, los cuales son: Reflector, los accesorios de la cubeta (En total son 13) y un soporte universal con sus respectivas pinzas, cabe aclarar, que estos los encontré en el laboratorio del departamento de física. Lo que fue, el contenedor de la tinta (Destilador con válvula de paso) y las mangueras de látex, las solicite en el laboratorio del departamento de química. Pero como esta máquina necesita un flujo de agua constante, observe que, las instalaciones del departamento de física no tienen llaves de agua con salida en punta que funcionen puesto que estas tienen daños en su tubería, por tal razón, se encuentran fuera del servicio. por consiguiente, compre un adaptador para la llave del agua con la manguera y por sugerencia del encargado del departamento también compre colorante vegetal para evidenciar mejor el efecto.

Teniendo ya todos los materiales listos, me di la tarea de armar el montaje por primera vez. Lo cual lo ensamble de la siguiente manera:

- I. Arme el soporte universal y coloque las pinzas a una altura determinada, con ello, coloque el destilador con cuidado de no dañar el tubo de salida.

- II. Ubique el proyector cerca de un lugar donde tuviera desagüe y una toma de luz, con ello, me remití a colocar sobre él la cubeta con su tanque; me cerciore, de que en ningún momento la cubeta tuviera alguna filtración o agujero para que no dañara el proyector.
- III. Instale adecuadamente una manguera en la parte inferior del montaje donde se encuentra el desagüe de la cubeta, este proceso lo realicé para facilitar y prever un accidente con el proyector. Luego, coloque el adaptador de la llave de agua consecuentemente conecte una manguera desde la salida del adaptador hasta el tanque del montaje, teniendo esto listo, sitúe la manguera que va del destilador al tubo de la tinta de la máquina.
- IV. Procedí en un beaker de 800 ml, llenarlo de agua y con ello unas cuantas gotas de colorante artificial. Después de mezclar la tinta con el agua, agregue una cantidad de esta al destilador. Cabe aclarar, que este se encontraba con su válvula de paso cerrada.
- V. Teniendo todo listo, di marcha al funcionamiento del montaje, primero abrí la llave del agua regulando el flujo de paso de esta hasta lograr un chorro constante, observando que el desagüe funciona correctamente abrí la válvula del destilador, con ello, se comenzaron a ver hilos de agua de color (ver ilustración dos). Observando este efecto, sitúe los diferentes accesorios para ver el funcionamiento de la máquina. Este último procedimiento lo repetí en varias ocasiones para perfeccionar funcionamiento.



Imagen 223. *Primer funcionamiento de la cubeta de líneas de flujo.*

Fuente: Fuente propia



Imagen 234. Primer funcionamiento de la cubeta de líneas de flujo.

Fuente: Fuente propia



Imagen 25. Primer funcionamiento de la cubeta de líneas de flujo.

Fuente: Fuente propia

- 07 de septiembre del 2018 (Funcionamiento)
Para el XII salón de la ciencia del Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional la máquina fue presentada, con ello, dando el fin de la reparación de este montaje. Por consiguiente, se entrega al departamento de física en montaje experimental en buen funcionamiento con todas sus piezas para que docentes o estudiantes que lo puedan manipular.



Imagen 26. Fotografía del XII Salón de la ciencia DFI UPN

Fuente: Fuente propia

- 17 de mayo del 2019 (En clase)

Gracias a la presentación en el salón de la ciencia del semestre 2018-2 el docente encargado de la asignatura de cálculo vectorial del periodo 2019-1 me solicita la ayuda para presentar el montaje en la clase, puesto que esta actividad experimental, ayuda acercar a las nociones de rotacional, divergencia y convergencia en un campo vectorial.



Imagen 27. Presentación en la clase de cálculo vectorial.

Fuente: Fuente propia

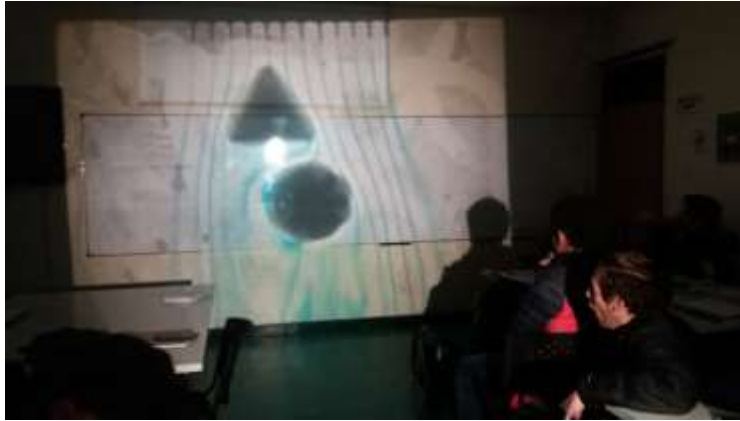


Imagen 28. Presentación en la clase de cálculo vectorial.

Fuente: Fuente propia



Imagen 29. Presentación en la clase de cálculo vectorial.

Fuente: Fuente propia



Imagen 30. *Presentación en la clase de cálculo vectorial.*

Fuente: Fuente propia

6.3.2. Aparato de hilos de corriente según el profesor Pohl (Cámara plana)

- 07 de noviembre del 2017 (Pregunta)

Realizando la investigación previa para el anteproyecto encontré una tesis de uno de los egresados del departamento de física, la cual se titula: *La turbulencia, un fluido irregular y complejo* realizada por Ávila, G en el 2006. El compañero, realiza un montaje de una cámara plana construido por nailon y agua jabonosa, permitiendo, evidenciar un fluido en condiciones turbulentas mediante una película jabonosa. Viendo este montaje, le pregunte al encargado del laboratorio del departamento de física sobre si este montaje realmente se podía lograr. Por consiguiente, el me enseña el montaje del profesor Pohl, me parecía interesante, pero en el momento no le vi importancia alguna.

- 14 de mayo del 2018 (Indagación del montaje)

Después de un tiempo, volví al laboratorio del departamento de física y solicite la cámara plana, en ese momento me dirigí al salón de práctica libre que tuviera flujo de agua y desagüe. Puesto que, realice una primera prueba del estado del montaje, cuando le coloque agua en cada uno de sus estanques (Recipientes superiores) observe que el montaje tenía varias fugas.

este interés por el montaje se dio a que decidí junto a mi asesor trabajar con prototipos experimentales y este fue una opción.



Imagen 31. Fotografía de los tanques de suministro del aparato de hilos de agua.

Fuente: Fuente propia

Observando este inconveniente, comencé a ver que material se encontraba reforzando para que el agua no se escapara, en la cual, se evidencio ningún material. Pero los vidrios no se podían quitar tan fácilmente así que decidí destapar el montaje y ver cómo se podía arreglar.

- 17 de mayo del 2018 (Vamos a reparar)

Después de evidenciar el estado del montaje, procedí a revisarlo y generar las reparaciones necesarias. Primero solicite el montaje en el laboratorio del departamento de física. Me dirigí al salón de la práctica libre con: una bayetilla, juego de destornilladores, limpia vidrios y papel periódico.

Comencé, colocando la bayetilla debajo del montaje, la cual funcionaria como soporte para las piezas que caían o salía involuntariamente del montaje, después con un destornillador pequeño de cabeza plana desatornillé cada uno de los tornillos del montaje. En el instante que lo abro se observa un caucho (Empaque plástico) negro, el cual, tiene un grosor de dos milímetros, este empaque se encontraba en buen estado. Lo que sucedía, era que el montaje estaba pegado con pasta negra, pero está, ya se había desgastado. A lo cual, procedí a cambiar por completo toda la masilla negra por silicona, cabe aclarar que esta la utilicé después de limpiar con mucho cuidado cada uno de los vidrios.

En cada uno de los estanques del montaje, también se encontraba esta masilla, por la cual, remplace por silicona y guarda tipos, estos dos materiales funcionaron muy bien para cerrar por completo las posibles fugas del montaje, cabe aclarar, que este material también se utilizó en los vidrios.

Al momento de unir el montaje fue algo complicó puesto que el empaque tenía que encajar perfectamente en cada uno de los agujeros de los tornillos y tener la misma tensión en cada punto. Al finalizar este procedimiento con mucho cuidado, se procede a dejar quieto durante un par de días para así dejar solidificar un poco la plastia (Guarda tipos).



Imagen 42. Fotografía de la limpieza del aparato de hilos de agua.

Fuente: Fuente propia



Imagen 33. Fotografía de la limpieza del aparato de hilos de agua.

Fuente: Fuente propia

- 21 de mayo del 2018 (Prueba)

Dejando pasar algunos días necesarios para que el montaje estuviera óptimo se solicita en el laboratorio del departamento física, observando que esté se ve favorable se procede a ensamblarlo. Para armar este montaje se realizaron los siguientes pasos.

- I. Se necesitan los siguientes materiales. primero la cámara plana lista y sin ninguna fuga. Segundo una manguera que ayude al desagüe, tercero dos soluciones con diferente densidad por ejemplo agua con colorante y glicerina o aceite vegetal, por último, una lámpara.
- II. Se coloca la manguera en la salida de sustancia de la máquina, por consiguiente, se utiliza una gran cantidad de agua con tinta la cual estará en el primer bando de la cámara plana e inmediatamente se llena el otro banco con la otra solución en este caso aceite vegetal.

Cuando observamos este comportamiento visualizamos como las dos sustancias no se mezclan, con ello, se evidencia un flujo continuo de las dos soluciones. Lamentablemente, el montaje ya no cuenta con sus accesorios (Fichas de diferentes formas) para observar el comportamiento de las líneas de flujo cuando chocan con algún objeto.



Imagen 34. Montaje experimental terminado

Fuente: Fuente propia

- 20 de mayo de 2019 (Fichas a la obra)

Después de un año, retomo el montaje para poderlo culminar, con ello, tomo la referencia de la distancia que se necesita para el desarrollo de los accesorios (Piezas) para entregar el montaje. Se observa que estas necesitan ser máximo de un milímetro. Las cuales se cortaron 6 piezas de las siguientes formas: Circulo, Cuadrado, Triangulo, Ala, Árbol y una Casa.

Al tener ya todo completo, se vuelve a solicitar los materiales para ensamblar el montaje. Se puede observar que se obtiene el mismo resultado que en la práctica anterior, pero este montaje ya utilizando las nuevas piezas se pueden modelar diferentes sistemas de la mecánica de fluidos, para evidenciar, flujo laminar y turbulento. Se hace entrega al departamento de física el material completo para el funcionamiento y utilidad del montaje.

6.3.3. Canal de corriente

- 19 de septiembre del 2018 (Encuentro)

En el margen del desarrollo del anteproyecto de grado, el encargado del laboratorio me pregunto que, si ya tenía un montaje experimental claro para el desarrollo de mi proyecto de grado, por consiguiente, el menciona que existe un aparato sobre mecánica de fluidos en uno de los salones, en ese mismo momento nos dirigimos al salón B-216, el cual tenía una máquina en condiciones precarias, está, ya iba a ser dada de baja por el estado que se encontraba. El montaje se encontraba, llena de basura, grafitis, un motor viejo oxidado y se evidenciaba que faltaban piezas de esta máquina. Las condiciones del montaje no eran las más favorables, ni mucho menos ver la vida útil del aparato.

En una de las asesorías le comento a mi tutor sobre esta máquina y a vísperas de entrega de ante proyecto tomamos la decisión de reparar y reestructurar este montaje experimental tomarlo como eje central del proyecto de grado.



Imagen 35. Fotografía del estado inicial del canal de corrientes.

Fuente: Fuente propia

- 03 de diciembre del 2018 (Vamos a limpiar)

Después de aprobado el ante proyecto, me dirigí al laboratorio del departamento de física y solicité al encargado este montaje en tan mal estado y comenzase con la limpieza del montaje.

inicialmente, quitando el motor oxidado de la máquina, después, procedí a sacar la totalidad de la basura que se encontraba en su interior, cabe aclarar que este montaje estaba olvidado en el tiempo, donde se encontraron: empaques de dulces, una hoja con desarrollo matemático, telarañas, moho, entre otras cosas. Después de sacar casi la totalidad de esta suciedad, comencé a lavar con una esponja y jabón todo el armazón externo del montaje tratando de quitar las manchas de grasa, los grafitis, la suciedad y el polvo hasta dejarla en unas condiciones mínimas para pintarla en un futuro.

Al finalizar esta sección de limpieza deje la máquina con una gran cantidad de agua (La capacidad máxima del montaje) con jabón y cloro, para que la suciedad interna se despegara un poco.



Imagen 36. Fotografía del montaje experimental después de la primera limpieza.

Fuente: Fuente propia

- 05 de diciembre del 2018 (Continuar con la limpieza)

Después de dejar dos días el montaje con el agua, procedí a ver el estado de esta, en la cual, a simple vista se observaba gran cantidad de agua en la mesa donde se dejó, por tal razón, se comenzó a observar donde se tenían las fugas del montaje, estas se localizan en los brazos de este y en los vidrios, cabe aclarar que los vidrios estaban pegados por masilla negra desgastada y por trozos.

Al momento de vaciar el montaje en el fregadero observamos que la válvula de desagüe se encuentra dañada, por tal razón tocó girar el montaje para desocuparlo. Con ayuda de una esponja y un churrusco se limpia con mucho cuidado la parte interna del montaje y con la ayuda de un bisturí se quita la pasta negra de los vidrios retirándolos así del montaje. Continuando con la limpieza, se observa que este tiene unos filamentos pequeños en uno de los costados del montaje, estos se limpian con un churrusco más delgado para no afectarlos o dañarlos.

Al finalizar esta etapa, el montaje queda limpio interno y externamente. Donde se encontraban las fugas se realiza una mezcla líquida de pegamento epoxico para sellar el montaje donde fuera necesario. Se recubre de periódico en los espacios donde se encontraban los vidrios y preparando así el montaje para pintarlo.



Imagen 37. Fotografía de la segunda limpieza del montaje.

Fuente: Fuente propia



Imagen 38. Recubrimiento epoxico

Fuente: Fuente propia

- 07 de diciembre del 2018 (Pintura)

Teniendo ya listo el montaje, nos dirigimos a un costado de la universidad y adecuando el lugar procedemos a darle una primera capa de pintura anticorrosiva para minimizar los efectos de óxido en el montaje por culpa del agua, dejando pasar un tiempo prudente de quince minutos se realizan dos capas más de esta pintura. Ya en horas de la tarde, con una lata de pintura negra se pasan dos capas de pintura dejándola secar por completo.

Al finalizar esta actividad se toman las medidas de los vidrios las cuales son 17,8 centímetros por 8,7 centímetros, con un grosos diferentes cada uno, el primero de cinco milímetros y el otro de tres milímetros.



Imagen 39. Fotografía del montaje listo para pintar.

Fuente: Fuente propia



Imagen 40. Fotografía del montaje con pintura anticorrosiva.

Fuente: Fuente propia



Imagen 41. Fotografía de la aplicación de la primera capa de pintura negra.

Fuente: Fuente propia



Imagen 42. Fotografía del montaje con las capas de pintura negra.

Fuente: Fuente propia

- 13 de diciembre del 2019 (Vidrios al ataque)

Teniendo en cuenta las medidas realizadas anteriormente de los vidrios se procede a comprarlos, lamentablemente la máquina tiene un pequeño desfase en su costado de cinco milímetros puesto que el vidrio cortado por esta medida no encajó adecuadamente en el montaje. Por consiguiente, se tuvo que comprar el vidrio nuevamente para la instalación; cabe aclarar que este vidrio fue bastante complicado en colocar, ya que, en repetidas ocasiones toco cambiarlo para que fuera óptimo el funcionamiento. Ya que, si este queda mal puesto generaba turbulencias en el flujo de agua, por tal razón se fue lo más preciso posible para evitar esos errores.

Ya teniendo los vidrios listos se procede a pegar el primer vidrio el cual es el de tres milímetros, observando la dificultad el vidrio de cinco milímetros se utiliza la ayuda de dos láminas de madera para sostener este vidrio y con ello dejarlo fijo para que no se corriera.



Imagen 453. *Fotografía del pegado de los vidrios por primera vez.*

Fuente: Fuente propia

Este procedimiento tocó repetirlo a mediados del mes de febrero del 2019 ya que el vidrio de cinco milímetros a un tenía molestias por consiguiente se cuadro hasta que este quedara perfecto y listo el montaje.



Imagen 44. *Fotografía del Refuerzo en los vidrios con silicona.*

Fuente: Fuente propia



Imagen 45. Fotografía de la Máquina con los vidrios en condiciones óptimas.

Fuente: Fuente propia

- 26 de febrero del 2019 (En busca del manual)

Después de las vacaciones de los administrativos de la universidad y reanudación de clases después del paro estudiantil; se procedió a mirar y buscar la relación o inventario del laboratorio del departamento de física sobre este montaje. Lo cual, en los manuales de la marca Leybold se encuentra una pequeña descripción del montaje, pero este no tiene ninguna indicación o guía para el uso del montaje.



Imagen 46. Fotografía de la Descripción de la máquina en el catálogo Leybold.

Fuente: Fuente propia

Después de una larga búsqueda en las bibliotecas y centros de documentación de la universidad, los resultados son nulos y por consiguiente se procede hacer una búsqueda web, lamentablemente la marca del dispositivo dio de baja a estos archivos en su página principal, por tal razón se buscó la forma de entablar una comunicación con la empresa en Alemania, donde lamentablemente también los resultados fueron nulos ya que este modelo fue diseñado hace más de cincuenta años por la empresa y los registros no se encuentran.

Por consiguiente, me tome a la tarea de diseñar un manual de este montaje el cual se encuentra en los anexos de este trabajo.

- 13 de mayo del 2019 (En busca del motor)

Por directrices de mi asesor, me aconsejo que suspendiera por el momento la reconstrucción de la máquina pero a la fecha del mes de mayo del 2019 retome la reparación de este montaje, uno de los aspectos más importantes de este es el motor con su eje, lamentablemente el motor original de la máquina tenía perdida una de sus escobillas y funciona a doscientos veinte voltio, por sugerencia del encargado del laboratorio del departamento de física me comento que buscara otro motor y que este funcionara a ciento veinte voltios.



Imagen 47. Fotografía del motor original de la máquina.

Fuente: Fuente propia

En el transcurso de los semestres fue nulo el hallazgo del motor, pero el tres de agosto del 2019 en uno de los cajones del salón del B213 encontramos un motor. Este se encontraba unido a otro montaje de termodinámica, observando que este nos podría funcionar se trató de separar, pero lamentablemente no funcionó, y de consecuencia, un asiente por parte del encargado del laboratorio con una segueta por tratar de separar el motor.



Imagen 48 Fotografía del motor encontrado en el B-213.

Fuente: Fuente propia

Por consiguiente, tomamos la decisión de seguir buscando, hasta el día doce de agosto del 2019, este día encontramos en el salón del B-216 tres diferentes motores, donde cada uno tienen diferentes frecuencias en este caso tomamos un motor D.C de veinte Hz el cual funciona adecuadamente para el montaje.



Imagen 49. Fotografía de los motores encontrados en el B-216.

Fuente: Fuente propia

Este motor contaba con una pieza (Disco) que dificultaba el acoplamiento con el eje de la máquina, por tal razón, se quitó este disco y se lijo lo suficiente para poder casar con el eje.



Imagen 50. Fotografía del motor escogido para el montaje.

Fuente: Fuente propia



Imagen 51. Fotografía del Proceso de lijado del eje del motor.

Fuente: Fuente propia

- 06 de agosto del 2019 (El desague)

Teniendo aun problemas con el desague de la máquina se procede a quitar la válvula de salida, esta, se encontraba rodada y oxidada dentro de la máquina, esta pieza originalmente no se había podido quitar, ya que, no se podía y gracias a los desengrasantes y una buena fuerza aplicada se pudo forzar un poco y soltar, de tal manera que esta pieza ya no estaría en el montaje final.

Comprando un registro con un acople de cuarta se remplazó esta válvula del montaje y con un poco de teflón se colocó en la máquina. Para mayor facilidad en el desague de la máquina, esta, se colocó verticalmente con respecto a la llave de paso.



Imagen 52. Fotografía del Registro.

Fuente: Fuente propia



Imagen 563. Fotografía del ensamble del registro.

Fuente: Fuente propia

- 12 de agosto del 2019 (En busca de un eje)

Observando el eje del montaje original, se puede visualizar que tiene reparaciones en sus hélices con soldadura, el eje (varilla de hierro) se encuentra torcido, por tal razón se comienza a pensar en el cambio de este por algún otro más práctico para el montaje.

Inicialmente se piensa en realizar el eje en acero o algún material similar al hierro, pero se observa que este es muy pesado para hacer funcionar correctamente el motor, ya que no es solo el eje sino también una gran cantidad de agua que se encuentra dentro de la máquina. La siguiente opción fue una varilla de acrílico o plástico, en la búsqueda de esta pieza, los resultados fueron nulos, ya que, por horas y en diferentes lugares de Bogotá no se encontró. Con ello, uno de los administrativos del departamento de física nos comentó que tenía una varilla de una carpa.

Cuando obtuvimos esta varilla observamos que era la correcta, pero en el instante que la estábamos cortando a la distancia pertinente del tamaño del eje se partió, puesto que, esta varilla estaba hecha de fibra de vidrio, pero el otro trozo que nos quedó lo acoplamos y limamos para que funcionara como eje.

En la parte inferior del montaje existe una cavidad donde casa una pequeña punta del eje original, pero, como el nuevo eje no tiene esta punta se adaptó con un tornillo, que funcionó con éxito para el funcionamiento del eje.

Al finalizar este proceso observamos que ninguno de los ejes propuestos funcionó, por tal razón volvimos al eje original y con ayuda de los funcionarios del taller de tecnología enderezamos el eje y generamos una adaptación pertinente para el motor.



Imagen 54. Fotografía de la adaptación del eje.

Fuente: Fuente propia



Imagen 55. Fotografía del Eje arreglado.

Fuente: Fuente propia

- 20 de agosto de 2019 (Unión de piezas)

Ya con el motor y el eje, se procedió a unir estas dos piezas fundamentales del montaje. Uno de los inconvenientes fue que la varilla no casaba bien con el eje del motor, por consiguiente, se volvió limar el eje hasta que cierta parte de la varilla pudiera entrar, pero viendo que no entraba en su totalidad se tomó la varilla y con la fricción generada por el motor, cedió la varilla y casando perfectamente con él.

Teniendo ya listo esto, procedimos a realizar una mezcla de pegamento epoxico para fijar completamente el motor y el tornillo en la punta del eje. Dando como una falla en el montaje por tal razón se vuelve a ir a las instalaciones del taller de tecnología en la cal se perfora un poco más la cavidad de la varilla para que el motor ingrese perfectamente.

Y es de esta manera que se logra con éxito después de múltiples intentos que estas dos piezas queden juntas.



Imagen 56. Fotografía de la adaptación del motor con el eje.

Fuente: Fuente propia

- 21 de agosto de 2019 (Circuito)

Teniendo en cuenta los requerimientos para interactuar con el montaje, observamos la necesidad de realizar un regulador de corriente el cual, regula que tan rápido se moverá el fluido (Agua) dentro de la máquina, para ello referimos los siguientes materiales.

- I. Dos resistencias de $47K\Omega$
- II. Una resistencia de 100Ω
- III. Un potenciómetro de $100K\Omega$
- IV. Tres condensadores de $0.1 \mu F$
- V. Un TRIAC NTE 5638, amperios/400V o similar
- VI. Un disipador de calor para el TRIAC
- VII. El enchufe

Este montaje es tomado de: <https://unicrom.com/dimmer-control-de-velocidad-motor-ac-con-triac/> el cual suministro la información de los materiales y los planos para armarlo, uno de los inconvenientes fue encontrar el TRIAC puesto que a la fecha fue descontinuado y por tal razón utilizamos su remplazo, dando un funcionamiento óptimo en el circuito.

Después procedimos a hacer el circuito en una protoboard para ver el funcionamiento de este, observando que funciona correctamente y con ello instalándolo en el motor pasándolo a una báquela universal.

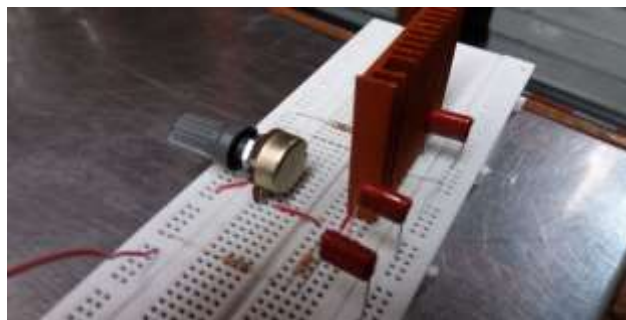


Imagen 57. Fotografía del circuito en la protoboard.

Fuente: Fuente propia



Imagen 58. Fotografía de la Prueba del circuito con el motor.

Fuente: Fuente propia



Imagen 59. Fotografía del paso del circuito a la báquela universal.

Fuente: Fuente propia

- 27 de agosto del 2019 al 05 de septiembre del 2019 (El reto del soporte del motor)

Ahora bien, ya con todo listo procedí a ensamblar cada una de las partes, es decir, colocar el motor, el circuito, y el eje en sincronía para el funcionamiento, lamentablemente el cilindro de la máquina que se tenía no era lo suficientemente largo para cubrir el motor y el circuito, por consecuencia, se compró un recipiente plástico de las dimensiones necesarias.



Imagen 60. *Fotografía del recipiente plástico.*

Fuente: Fuente propia

Teniendo ya el recipiente se observó que este quedaba muy justo sobre el disco del soporte. Por consiguiente, utilizando un poco de vapor de agua para expandir un poco la parte inferior del recipiente, dando así el espacio suficiente para ingresar por presión, cabe resaltar, que para dejar bien este recipiente se solicitó la ayuda a los encargados del taller de tecnología nuevamente.



Imagen 61. *Fotografía del Proceso de expansión del recipiente plástico.*

Fuente: Fuente propia



Imagen 762. Fotografía del taller de tecnología, emparejamiento del recipiente plástico.

Fuente: Fuente propia

Teniendo listo este recipiente, comenzamos con la adaptación de este, se realizan dos agujeros en la parte superior para dar ventilación del motor y el circuito; se genera un pequeño espacio en forma de u para la salida del cable para la toma. Por último, en la parte frontal se realiza un agujero del tamaño del regulador de velocidad (circuito).

Gracias a los consejos dados por el encargado del laboratorio del departamento de física, se ensambla en su totalidad las piezas, pero al momento de realizar una prueba de la máquina observamos que el motor necesita una estabilidad un poco mayor, por consiguiente, se diseña una pequeña L para soportar este motor. Esta L es de aluminio, por tal razón me dirigí nuevamente al taller de tecnología para crearla. Inicialmente se utiliza el soplete y un martillo para dar la forma de L y se corta el resto del material. Luego con la ayuda de una lima y una prensa se empieza a lijar la L para dar forma de media luna en uno de sus extremos. Ya con la forma requerida, se coloca en el disco de apoyo mediante dos tornillos y plastilina de pegamento epoxico. Posteriormente, ya con la L fija se perfora con el taladro a una distancia prudente para colocar un tornillo entre la placa de aluminio y el motor. Dando como resultado todo un éxito en su estabilidad.



Imagen 63. Fotografía de la Formación de la L de aluminio.

Fuente: Fuente propia



Imagen 64. Fotografía del uso del soplete para dar la forma requerida.

Fuente: Fuente propia



Imagen 65 Fotografía del proceso de Limado de la pieza de aluminio.

Fuente: Fuente propia

Ya con todo listo y en perfecta sincronía se arma el montaje y se realiza las primeras prácticas las cuales resultan exitosas.



Imagen 66. Fotografía del motor, circuito y eje ensamblados.

Fuente: Fuente propia

- 10 de septiembre del 2019 (Pruebas del montaje)

Teniendo ya por completo el montaje experimental se vacían dos litros de agua dentro de este, cuando se activa el motor se observa un primer comportamiento de flujo laminar en la máquina y cuando colocamos un accesorio de la máquina evidenciamos el efecto que esperábamos de flujos turbulentos, para evidenciar mejor este comportamiento de la máquina me apoye gracias a una luz led de color blanca. Dando así por completa la reparación de la máquina y entregándose al departamento de física de la UPN para él eso de los diferentes espacios académicos.



Imagen 67. Fotografía de la Máquina en estado final de la reparación.

Fuente: Fuente propia



Imagen 68. Fotografía de la visualización de las líneas de flujo turbulentos dentro del canal de corrientes.

Fuente: Fuente propia

- 18 de octubre del 2019 (Presentación)

Como resultado final se presenta el canal en su funcionamiento completo en el XIII salón de la ciencia del DFI de la UPN, generando una divulgación pertinente de la existencia del montaje experimental.



Imagen 69. Fotografía del montaje experimental completo.

Fuente: Fuente propia



Imagen 70. Fotografía de la visualización de las líneas de flujo al interactuar con un accesorio del montaje.

Fuente: Fuente propia

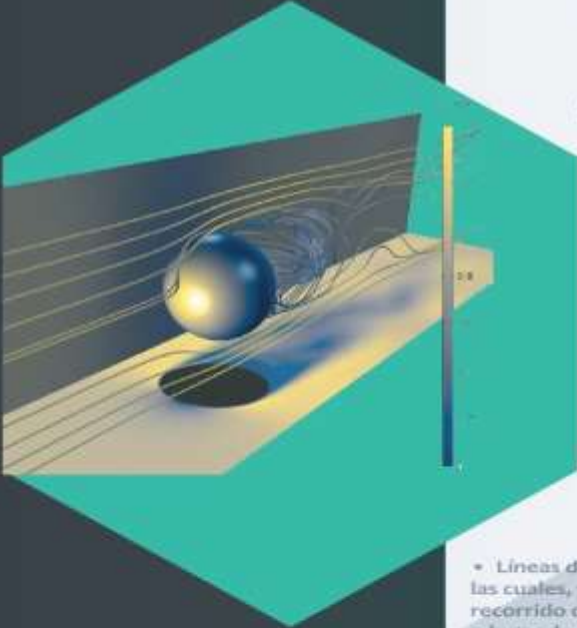


Imagen 71. Fotografía de la explicación del montaje experimental en el XIII salón de la ciencia UPN.

Fuente: Fuente propia


6.4. Anexo 4: Manual del canal de corrientes de la marca LEYBOLD

MANUAL DEL CANAL DE CORRIENTES DE AGUA MARCA LEYBOLD®



Cita Visual
https://www.manualvuelo.es/1pbav/18_perd.html

Departamento de física
Autor: Daniel Cruz Goyeneche
Periodo: 2019 - 2



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

Palabras claves:

Canal de corrientes, caudal de agua, líneas de flujo

Introducción

A continuación, se presenta el manual correspondiente al canal de corrientes de la marca Leybold, el cual, tiene como funcionalidad visualizar los diferentes comportamientos que puede tener una corriente de agua al momento que interactúa con algún objeto, es válido mencionar que este montaje experimental es de corte cualitativo.

Este montaje experimental es reconocido por su eficiencia y funcionamiento óptimo al momento de interactuar con él. También, en el presente manual se encontrarán con algunas características de este montaje, tales como: los referentes teóricos, una pequeña reseña histórica del montaje, caracterización, funcionamiento y algunas preguntas orientadoras al momento de interactuar con el monte experimental.

Referencias teóricas

Para la interacción del montaje experimental se deben tener en cuenta algunas reflexiones sobre la hidrodinámica, cabe aclarar que estas consideraciones las tomaremos desde una perspectiva euleriana. A continuación, las menciono.

- **Líneas de flujo:** Es la unión de múltiples partículas fluidas, las cuales, pueden tener cualquier dirección, por ejemplo, el recorrido que puede tener una partícula fluida hacia un punto o lugar de un cuerpo fluido, donde este, puede cruzar una pequeña área perpendicular en una dirección.
- **Caudal:** Es la cantidad de agua que circula a través de una sección de un conducto en un tiempo determinado.
- **Fluido real:** Es el comportamiento que tienen las diferentes soluciones en el mundo natural.
- **Flujo laminar:** Este tipo de flujo no se encuentra con facilidad en la naturaleza, puesto que para evidenciarlo se requieren algunos parámetros muy pocos comunes. También se puede mencionar, que el movimiento de las partículas fluidas es ordenado y en conjunto se comportan estacionariamente.
- **Flujo turbulento:** Este tipo de flujo se encuentra con mayor facilidad en la naturaleza, puesto que este se puede evidenciar en el comportamiento de ríos, corrientes de aire y más.



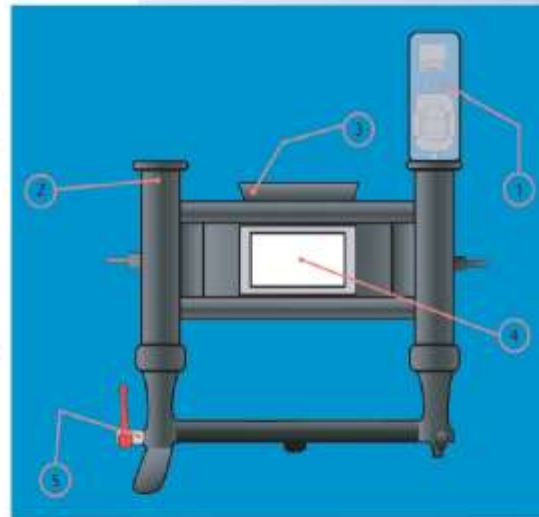
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA
NACIONAL

Es válido mencionar, que estas nociones son algunas consideraciones que el lector deberá tener en cuenta en el desarrollo de la interacción y la interpretación del instrumento experimental. Se recomienda que el lector echar un vistazo al trabajo de grado La turbulencia, una mirada del sentir mecánico experimental, donde estas consideraciones teóricas se encuentran con mayor claridad.

Imagen 1 Referencia y Partes

Reseña histórica del montaje

Este montaje experimental pertenece a la familia de la marca LEYBOLD, donde sus primeros diseños aparecen en 1945, con la inquietud del comportamiento del agua en cierto tipo de canales para extracción de oro en los ríos. A mediados de 1950, la compañía retoma los planos de esta actividad experimental, con las reflexiones y apreciaciones de los diferentes autores más relevantes de la mecánica de fluidos generando la construcción de este prototipo experimental para estudiar el comportamiento de un caudal de agua cuando es sometido a interactuar con diferentes cuerpos; por tal razón, el prototipo que se presenta a continuación es la tercera edición de esta idea, la cual es propuesta en 1970.



Partes del montaje

Este instrumento experimental está compuesto por cinco partes, las cuales se encuentran señaladas en el esquema del montaje (Imagen 1). Estas son:

1. Motor y regulador de velocidad. Este motor cuenta con un funcionamiento a ciento diez voltios con una frecuencia de 20/DC. Por otro lado, se encuentra el regulador de voltaje el cual posibilita la variación de velocidad del eje de la maquina en un rango determinado, puesto que, si este rango es sobre pasado el montaje experimental no funcionara acorde a lo esperado. Además, estos dos se encuentran cubiertos por un recipiente plástico con suficiente espacio para la refrigeración de estos.

2. Cavidad de ingreso de agua. Esta cavidad cuenta con un diámetro de nueve centímetros. Cabe aclarar, que este montaje experimental tiene la capacidad máxima de albergar cuatro litros de agua.

3. Escotilla. Este segmento del montaje consta de una tapa hermética de aproximadamente catorce centímetros de largo por cuatro centímetros de ancho, la funcionalidad de esta escotilla es que se logre introducir los diferentes accesorios para generar perturbaciones en las corrientes de agua.

4. Pantalla de visualización del fenómeno. Esta pantalla tiene las siguientes medidas, de largo tiene 17,8 centímetros y de alto tiene 8,7 centímetros, es válido mencionar que esta pantalla está compuesta por dos vidrios uno de 0,3 milímetros de grosor y el otro de 0,5. Es importante tener en cuenta, antes que el flujo de agua pase a la pantalla de visualización se sometera a la filtración de unos pequeños tubos internos que ayudan a filtrar y a regular el agua.

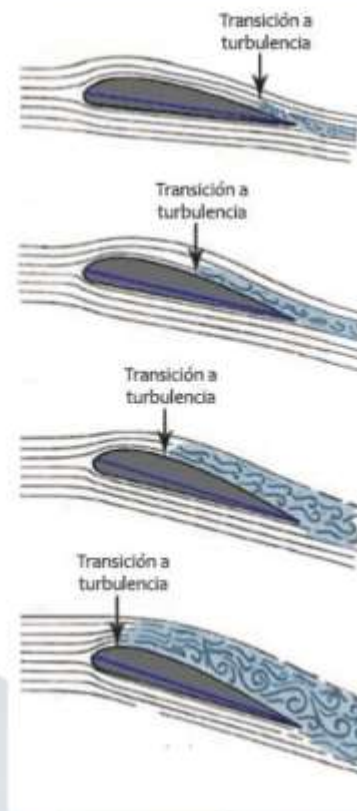
5. Registro de salida. Este registro cumple con la finalidad de desaguar el montaje experimental.

Funcionamiento

Ahora bien, gracias a la presentación de las partes del montaje experimental podremos comentar el funcionamiento de este. En primer lugar, se suministra la cantidad máxima de agua, la cual es de cuatro litros, posteriormente se conecta el enchufe del motor a una toma de ciento veinte voltios. Teniendo listo esto, se gira lentamente la perilla que regula la velocidad del eje del montaje, evidenciando así, en la pantalla el comportamiento del flujo de agua, puesto que la maquina por si sola genera una cierta cantidad de burbujas para visualizar el fenómeno. Por último, se recomienda introducir, por medio de la escotilla, uno de los accesorios para ver el comportamiento de las líneas de flujo con un obstáculo.



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA
NACIONAL



Cita Visual
<https://www.addlink.es/productos/comsol-cfd-module>



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA
NACIONAL

¿Que se puede hacer?

En una primera instancia este montaje experimental tiene una funcionalidad cualitativa, dando así, una aproximación al comportamiento que pueden tener las diferentes líneas de flujo visualizando el caudal generado.

Se puede generar una visualización de los posibles comportamientos de las líneas de flujo utilizando los diferentes accesorios. (Laminar, transitorio y turbulento)

Se puede visualizar el comportamiento de las líneas flujo cuando tienen un obstáculo, dando como consecuencia, diversas representaciones de las líneas de flujo.

Se puede visualizar el comportamiento del caudal de agua y este cómo se comporta en diferentes velocidades.

Se puede generar un acercamiento experimental a las nociones de aerodinámica.

Ver la funcionalidad de los diversos montajes experimentales para el estudio de la hidrodinámica.



Recomendaciones uso

Para el buen funcionamiento de este montaje experimental se recomiendan las siguientes consideraciones:

1. Observar que la cantidad de agua sea la suficiente (cuatro litros) para evidenciar bien el fenómeno, puesto que si no se tiene la totalidad del agua las aspas del eje del motor pueden llegar a dañarse.
2. Tener cuidado con el ingreso de tierra, basura o partículas de algún otro material que afecten con las aspas.
3. Tener cuidado con el regulador de velocidad, puesto que el buen funcionamiento del montaje solo se puede dar en cierto rango que se encuentra señalado, ya que si se deja en una velocidad muy pequeña durante mucho tiempo el motor se puede dañar.

Preguntas orientadoras

• ¿Como se comportan las partículas dentro del canal de corrientes?

• Coloca varios objetos con diferentes formas dentro del canal de corrientes comenta lo que observas en cada uno de los casos.

• Utilizando la cámara del celular grabar vídeo del comportamiento del flujo de agua con alguno de los accesorios, pero en este caso variando la velocidad ¿Qué sucede con el caudal del agua?

• ¿Qué sucedería si en vez de agua utilizamos otro fluido?

• Piensa que te encuentras dentro del canal de corrientes a una escala microscópica ¿Qué papel jugarías y que pasaría contigo?

• ¿Existen lugares específicos que permiten no visualizar la turbulencia?

• ¿La turbulencia puede provocar la caída de un avión o el naufragio de un barco?

• ¿Qué genera la turbulencia?

• ¿Se puede predecir que tan turbulento está un sistema?



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA
NACIONAL

Referencias bibliográficas

Chitiva, J. A. (04 de 12 de 2013). Analisis conceptual en la mecanica de fluidos: Las líneas de flujo como concepto organizador. Bogota D.C., Colombia: Univerdidad Pedagogica Nacional.

Gonzalez, J. J. (2017). DESARROLLO CUALITATIVO DE LOS CONCEPTOS BÁSICOS DE LA MECÁNICA DE FLUIDOS: UNA APROXIMACIÓN AL PRINCIPIO DE BERNOULLI. Bogota D.C., Colombia: Universidad Nacional De Colombia.

Liñán, A. (2009). Las ecuaciones de Euler de la mecánica. Real Academia de Ciencias y Universidad Politécnica de Madrid , 151-177.

Nowacki, H. (2007). Leonhard Euler and the Theory of Ships. Moscu: Universidad De Moscu.

Ramon Peralta , F. (1993). Fluidos: Apellido de líquidos y gases. Mexico D.C.: Fondo de Cultura Economico S.A.

Suay Belenguer, J. M. (2008). Los Molinos y las Cometas de Mr. Euler Le fils. Quaderns D'Hisòria De L'Enginyeria, 117-144.

6.5. Anexo 5: Estrategia didáctica La turbulencia a través de las líneas del sentir



**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA
NACIONAL**

Educadora de educadores

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
LICENCIATURA EN FÍSICA**

NOMBRE: La turbulencia, a través de las líneas del sentir

ESTUDIANTE: Daniel Cruz Goyeneche

CODIGO: 2015146014

RESUMEN

En el presente documento, se encuentra una propuesta de estrategia didáctica para abordar el concepto de turbulencia a través de diversos montajes experimentales, posibilitando el acercamiento conceptual a este tópico trabajado en el marco de la mecánica de fluidos. Esta propuesta está diseñada para trabajar con los estudiantes de grado undécimo o en su defecto estudiantes que estén abordando la problemática de los sistemas dinámicos en un medio continuo, esta propuesta se puede desarrollar en asignaturas tales como mecánica o mecánica de fluidos.

INTRODUCCIÓN

La humanidad al momento de realizar diversas visualizaciones de su entorno genera la necesidad de comprender numerosos comportamientos que se evidencian en el mundo, gracias a esto se generan múltiples cuestiones del ¿Cómo? y el ¿Por qué? suceden estos acontecimientos. Algunas de las admiraciones que más generan intrigas es el comportamiento de los ríos y las corrientes de aire (Briggs & Peat, 1994) con esto, en el presente documento, se presenta una propuesta de un ambiente académico en el ámbito de la enseñanza de la física sobre el análisis conceptual y experimental sobre la turbulencia, afirma Parra (2013), que al momento de abordar este tema en diferentes espacios académicos la comprensión del fenómeno resulta algo engorrosa e insuficiente; mostrando así, la importancia de estudiar aquellas reflexiones y aportes expresados por diferentes autores tales como Osborne Reynolds (1842-1912), Lev Landáú (1908-1968) entre otros para generar una aproximación sobre este concepto, posibilitando los espacios adecuados para generar la aproximación adecuada este tópico de la física. De esta forma, dar a conocer una alternativa para el desarrollo de las clases y con

ello, posibilitar la aproximación por medio de las actividades experimentales, conceptualizaciones grupales por medio de la experiencia de los participantes para evidenciar este fenómeno.

Objetivo General

Evidenciar el ambiente de aprendizaje del concepto de turbulencia, a través, de una propuesta didáctica en la cual se desarrollan interacciones con montajes experimental o experiencias de la vida cotidiana, para estudiantes que estén abordando este fenómeno de la física.

COMUNIDAD

Esta propuesta está pensada para estudiantes que estén abordando problemáticas de la mecánica de fluidos o diferentes espacios académicos que requieran una aproximación al concepto de turbulencia, ya sea, un tópico de una asignatura o interés propio. por ejemplo: los estudiantes de grado un-dedicó en la clase de física o estudiantes del departamento de física de la Universidad Pedagógica Nacional.

Alcance de la propuesta

En el presente trabajo, se quiere llegar a abordar conceptos fundamentales para la comprensión de la hidrodinámica, la prioridad de este ambiente es generar un espacio acorde para el desarrollo adecuado de las temáticas a trabajar para dar una aproximación conceptual del fenómeno de la turbulencia en fluidos incompresibles. Para ello se presentan 4 momentos diferentes en los cuales cada uno se especificará en su momento.

JUSTIFICACIÓN

¿Por qué es importante?

Conceptos como la Fuerza en el ámbito de la enseñanza de la física parecen fáciles de explicar, ya que los estudiantes lo utilizan en diversas ocasiones en su lenguaje cotidiano, pero lo cierto, es que existen muchos usos de la palabra fuerza, por ejemplo los que mencionan Guidoni y Mazoli “Ahora bien, cuando se llega a un curso -sea del primer año de universidad, sea de una escuela elemental o una escuela superior- se tiene a menudo la idea (o el prejuicio) de que delante hay unas personas a las que es preciso «explicar bien qué quiere decir fuerza»: en cambio, estos chicos de cuarto han logrado, en un par de semanas de trabajo, localizar más de 250 frases estructuradas, diferentes y significativas, en las que era

utilizada la palabra fuerza” (M,Arca.P,Guidoni. P, Mazoli, 1994, pág. 5). Entonces si nos fijamos no es un concepto tan sencillo de explicar, requiere un trabajo reflexivo de pensar que es verdaderamente la Fuerza para la Física, aunque esto no implica que las explicaciones que dan los chicos sean erróneas, simplemente estas apreciaciones sirven para entender el comportamiento del mundo en el que vivimos.

Sin embargo, este es solo uno de los problemas que surgen cuando se piensa en la enseñanza de las ciencias, por otra parte, está la discusión de la recontextualización de saberes y cómo esto le permite al maestro llevar una imagen distinta de ciencia al aula, generalmente desconocemos cuáles fueron los problemas que hicieron que surgieran las grandes teorías científicas.

Teniendo esto en cuenta, centrando la temática que trabajaré con aproximar una afirmación científica y el comportamiento de los fluidos a través de diversos ambientes y actividades experimentales, con ello, la resolución de preguntas previas que nos lleven a visualizar el fenómeno que queremos estudiar (Turbulencia) dando así algunas claridades de conceptos científicos detrás de este (Líneas de flujo, Película de agua, vórtice y vorticidad).

Teniendo presente lo anterior, consideramos que este tipo de actividades prácticas son importantes, puesto que, en primera instancia permite conocer las ideas previas y el uso que le dan los estudiantes a este concepto. Esto, de alguna manera nos permite identificar algunos problemas de carácter ontológico que son muy usuales, sobre todo en este campo del conocimiento, donde a veces los conceptos parecen muy ambiguos e ilógicos. Otro aspecto importante es el proceso metacognitivo de entender o interiorizar la temática a trabajar, por ejemplo: El calor, no tomándose como una propiedad, si no como producto de la interacción de un cuerpo A aun cuerpo B; otro ejemplo es el concepto de campo, dando a así comprensión más adecuada de las interacciones electromagnéticas. Señaló que el experimento se vuelve pertinente para este tipo de aclaraciones conceptuales, siempre y cuando tengamos un intermediario que guíe la práctica, esto juega un papel válido para cualquier tipo de práctica experimental tanto física como mental.

En cuanto, porque es importante este trabajo hay un hecho significativo y es que dentro del pensum de la Licenciatura no se encuentra una asignatura encargada de analizar este tipo de fenómenos en medios continuos como materia obligatoria del ciclo de fundamentación. La mecánica de fluido, en algunos semestres se oferta como tópico complementario y no todos

los estudiantes pueden cursarla ya que este tiene cupos limitados; en ese sentido, se generan ciertos vacíos conceptuales al momento de comprender esta línea de investigación de la física, dando apreciaciones algo erróneas de presión, empuje, fluido ya que estos temas no se tratan con finura en un espacio académico.

Otra razón aún más importante es darle nuestro propio sentido a enseñar ciencia y a lo que llamamos el conocimiento científico, dando así una relación a los diferentes fenómenos que observamos en nuestra cotidianidad e inspirando al estudiante a observar de diferente manera su ambiente social, dando como resultado el conocimiento dentro del conocimiento científico.

MARCO TEÓRICO

El estudio del movimiento nos permite distinguir dos diferentes propuestas de pensamiento fenomenológico. En la primera, Herrera y Conde (2001) afirman que, la relación de los cuerpos con el espacio, considerando que los cuerpos son independientes de este. Es decir, que la interacción entre ellos es independiente y que uno no altera al otro. Gracias a este pensamiento se genera el estudio de esta visión, dando origen a las reflexiones sobre la mecánica de lo discreto, la propuesta newtoniana es la que tiene mayor referencia.

En segunda instancia herrera y conde (2001) presentan, que el estudio de la mecánica a través de los medios continuos, el cual la postura de Reynolds (1883) es la más significativa con respecto a esta teoría; este pensamiento requiere diversos esquemas de análisis y suficientes organizaciones para dar cuenta del movimiento, ya que, esta comprensión es diferente con respecto a la mecánica de lo discreto (Herrera Diaz & Conde, 2001). Por eso, en un primer momento se encuentra una dificultad en el análisis de distinguir entre el espacio y el medio ya que el vulgo considera estos dos términos sinónimos uno del otro. También García (2016) afirma el movimiento de cada parte del medio no se puede evidenciar independiente de todo el sistema. De igual modo, se genera un espejo con respecto a la mecánica discreta donde se puede hablar de los cuerpos como masas puntuales, mientras que, en la mecánica de los medios continuos, los cuerpos son considerados como extensión, aunque se piense en un segmento de este (Briggs & Peat, 1994).

Esta idea de analizar los medios continuos se genera a través de los principios básicos acerca del movimiento de los fluidos, los cuales se desarrollaron paulatinamente desde mediados del siglo XVI, hasta el XIX, Pineda (2005) afirma que diversas reflexiones de científicos tales como: Torricelli (1647) con su reflexión sobre las líneas de flujo, Pascal(1658) sobre la relación de la presión y la columna de fluido en una área determinada, Euler (1757) con el concepto de partícula fluida, Navier y Stokes (1822) en el estudio del comportamiento del fluido irregular, Reynols (1883) con su investigación y desarrollo experimental sobre la turbulencia, entre otros no tan reconocidos, proponiendo que el estudio de los medios continuos tienen que ser considerados como sistemas, en los cuales el cambio de estado de diversas partes de este se relacionan como acoplados, esto se refiere que sus partes no cambian su estado de manera ajena, sino que el cambio de estado de un segmento está dado por los cambios de estado en sus vecindades (Chitiva, 2013).

Los trabajos de Leonard Euler (1707–1783) sobre el desarrollo de las ecuaciones de un fluido compresible no viscoso en dos y tres dimensiones, afirma Torres (2006) que el desarrollo de este trabajo da luz a la dinámica de fluidos como rama de la física en el siglo XVIII, a esto se suman diversas experiencias tal como la propuesta por Reynols (1883) ya que este fue el primero en estudiar sistemáticamente la transición de un flujo laminar a turbulento inyectando tinta en un flujo que se desplazaba a través de tubos de sección circular y de paredes transparentes. García (2016) por otro lado menciona que sus observaciones llevaron a la identificación de un único parámetro adimensional, conocido ahora como el número de Reynolds, y denotado como Re . Con el objetivo de determinar que la transición de flujo laminar a turbulento ocurre cuando Re , toma valores por encima de cierto umbral dando una primera luz del comportamiento de líquidos y gases anteriormente ignorados.

Dentro de estas concepciones de la dinámica de fluidos encontramos la propuesta de L. Euler la cual propone el concepto de partícula fluida, afirman Herrera y Conde (1991) que se utiliza para describir la mecánica de fluidos desde un punto de vista físico y matemático, mostrando que una partícula fluida es un cuerpo infinitesimal que se comporta como un punto cuando se trata desde la matemática. Por otro lado, Pineda (2005) afirma que estos sistemas comprenden un cuerpo con extensión o lo suficientemente grande para poder asignarle diversas características físicas tales como masa, volumen, densidad, presión, entre otras.

Según este orden de ideas Euler plantea la masa como el producto del volumen por la densidad de masa de fluido que ocupa el volumen. (Herrera Diaz & Conde, 2001) es por esto por lo que en este tipo de análisis del comportamiento del fluido se realiza un seguimiento al desplazamiento y el movimiento de la partícula fluida.

En los sistemas de ecuaciones propuestos por Euler y Landau que recopila el documento Caos, Fluidos y Flujos de Herrera y conde (2001) como tema principal en el documento, por otro lado la monografía Turbulencia homogénea e isotrópica de García (2016) afirman que un análisis de múltiples estados iniciales reconoce a la naturaleza globalmente estable, es decir, aunque varíen algunas características de sus estados iniciales no dan discrepancias en los valores finales del análisis, cabe recalcar que estos siempre se encuentran en una región determinada del espacio de fases como si fuera un imán que recoge todas las trayectorias en una sola región.

Llegando a este punto, podremos se encuentra una rama que estudia el comportamiento de los sistemas dinámicos en un fluido la cual afirma Chaparro y grupo (2001) que es la hidrodinámica, la cual, consiste en analizar el cambio de estado del fluido, gracias a las causas y los efectos que perturban a un medio continuo, desarrollando un estudio detenido sobre el flujo de fluidos, Torres (2006) y García (2016) realzan que a comienzos del siglo XVIII diversos investigadores observan una característica de los medios continuos.

“Si la velocidad del flujo es baja, se dice que el flujo es laminar, pues su movimiento ocurre como si un conjunto de láminas se desplazara a través de capas paralelas entre sí que no se mezclan. Sin embargo, al aumentar la velocidad del fluido llega cierto momento en el que el flujo se vuelve altamente irregular. En estas condiciones se dice que el flujo es turbulento y el movimiento del ya no tiene lugar a través de capas paralelas” (García, 2016; pág.12).

Según este orden de ideas Torres (2006) hace a lución al desarrollo propuesto por Lev Landau, comenta que la turbulencia comienza progresivamente a medida que los movimientos dentro del fluido se vuelven cada vez más complejos. También, Castillo (2004) recalca el trabajo realizado por el físico David Ruelle, del Instituto de Altos Estudios Científicos de Francia, con ayuda de Floris Takens, creo una nueva teoría para este rápido surgimiento de las mostrando al final la concordancia con el pensamiento que de Landau propuso en su momento.

Una de las nociones más importantes para comprender el estudio turbulencia afirma Castillo (2004) que la noción de vórtice dentro de vórtices, realzando que los sistemas cercanos a la turbulencia lucen similares a sí mismos en una escala cada vez más pequeña. También, Briggs y Peat (1994) hacen alusión al número crítico propuesto por Reynolds como “un extremo de un espectro que abarca desde el flujo regular hasta los vórtices, la fluctuación periódica y el caos” (Briggs, J; Peat F. 1994 Pág. 49)

CUERPO DE TRABAJO

En cada una de las actividades pensadas a continuación se encuentran explícitos los objetivos y los ambientes pertinentes para el desarrollo de los espacios académicos propuestos generando así un acercamiento de los conceptos que se pretenden abarcar.

Glosario de párrafos

- → Representa comentario sobre la actividad
- → Representa comentario sobre el ambiente pertinente para la actividad

Primer momento (Introducción)

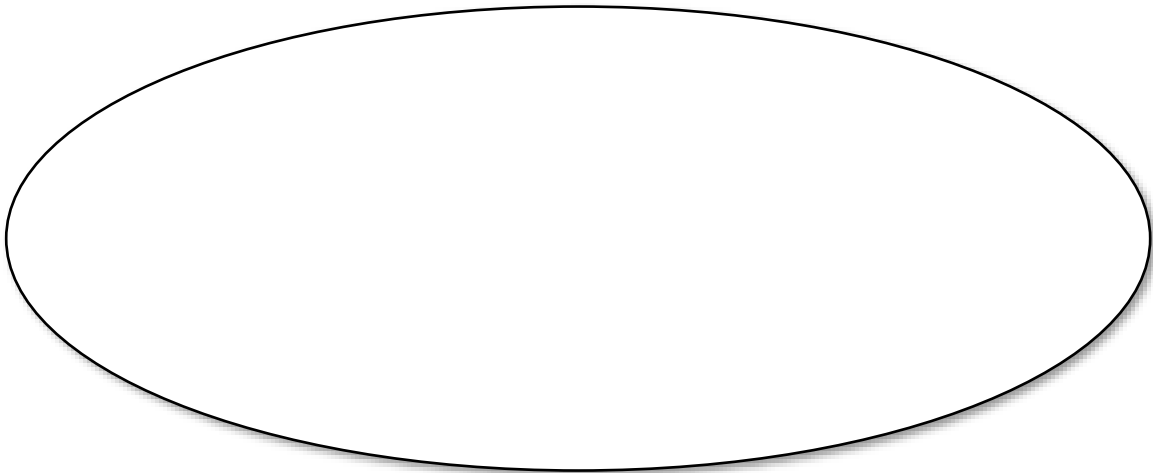
Objetivo

Visualizar, las nociones e ideas que pueden tener los estudiantes sobre el comportamiento de las líneas de flujo y algunos comportamientos de los líquidos, por medio, de preguntas introductorias.

- Esta unidad para su desarrollo, la comenzaremos realizando una charla de experiencias sobre algunos efectos observados por los estudiantes cuando se nombra fluidos en movimiento. Estas apreciaciones, las tendremos en cuenta para el desarrollo de esta actividad, para así, poder tener una idea de las concepciones de ellos y si estas apreciaciones funcionan como seudo pensamientos o ideas de anclaje para desarrollar los diferentes conceptos a trabajar.
- Para esta actividad requiere un espacio ameno, preferiblemente en una zona verde, donde los estudiantes puedan estar en contacto con el mundo natural; también, las suficientes copias del material

Preguntas

- ¿Qué cree usted que es un fluido? Menciona 3 ejemplos
- Cuando observa un río ¿Como se comporta el agua?
- ¿Cómo crees que es el movimiento de un avión en el aire?
- Dibuje a un gran grupo de personas ingresando a Transmilenio en hora pico y con ello comente que está sucediendo en ese instante.



- Teniendo en cuenta lo anterior a cada uno de los estudiantes se presentan los siguientes ejemplos para poder contextualizar a los estudiantes en el marco conceptual que se desarrollara en esta unidad, mediante las practicas experimentales acompañada de un pequeño video introductorio. con ello, generando dudas que se aclararan en el transcurso de las actividades.
 - Para este momento es necesario alguna ayuda audio visual o a través de los móviles (aviones, carros, motos o movimiento de agua) para poder ejemplificar mejor este tópico a trabajar.

Ahora veamos algún ejemplo de la aplicación en la vida cotidiana

- Cuando una persona se encuentra nadando dentro de un río. ¿Cómo se mueve el agua?
- Cuando un gran vendaval choca con cualquier objeto ¿Qué se puede observar?
- Cuando una persona se encuentra fumando ¿Cómo se comporta el humo?
- Parte del video <https://www.youtube.com/watch?v=tJvDxdmAvWY>



Segundo momento

- En esta actividad traeremos dos contajes experimentales, los cuales son: la cubeta de líneas de flujo y la cámara plana acompañada de algunos videos cortos donde se pueden observar este comportamiento. La intención de esta es poder observar el comportamiento de un fluido cuando interactúa con objeto sólido (Árbol, Casa, Ala de avión, entre otros objetos) y este genera una perturbación en el medio, dando como resultado, preguntas o acercamiento a los fenómenos de **Flujo unidimensional, Líneas de flujo, Medio continuo**. Y generar un primer acercamiento a evidenciar la

vorticidad y vórtices en un medio continuo.

- Para el desarrollo de la actividad se requieren las maquinas en funcionamiento, el material de papel necesario, un lugar con fuente de agua y desagüe par el funcionamiento de las maquinas.

A través de las líneas del sentir

OBJETIVO: Aproximar a los participantes al comportamiento de las líneas de flujo, mediante la práctica experimental y con ello observar cómo los objetos interactúan en un medio continuo.

- Se presenta primero la cámara plana en el cual da una primera interacción a visualizar las líneas de flujo y como estas interactúan en un medio continuo

Veamos qué sucede si aplicamos algunos de los conceptos vistos anteriormente, te has preguntado, ¿porque los fluidos se pueden mover de un lugar a otro? Por ejemplo: Cuando un barco se encuentra dentro de altamar y sus pasajeros dentro de él sienten un movimiento brusco ¿Qué es lo que está sucediendo con el agua? Pues... ¡vamos a averiguarlo!

Materiales

- Cámara plana
- Accesorios (Objetos)
- Fuente de agua (toma de agua)
- Tinta (Colorante)
- Recipiente para la tinta
- 2 mangueras transparentes
- Boquilla para la llave



Ilustración 1 Materiales montaje 1

Recomendación: Esta máquina se recomienda colocarla dentro de un platero o colocar otra manguera en el desagüe de esta.

¿Qué vamos a hacer?

1. Reunir los materiales []
2. Colorea el agua ¿Cómo así? Agrega unas cuantas gotas del colorante o tinta y agítalo hasta que quede de color que quieras []
3. Coloca el agua pintada en el recipiente predeterminado (Tarrito o envase con válvula). Cabe aclarar que esta se debe encontrar cerrado de inmediato colocar el recipiente de tinta **posdata:** La tinta tiene que quedar más alta que la cubeta. []
4. colocar la cubeta plana en un lugar adecuado (cerca de un sifón y una llave de agua) []
5. Suministrar la suficiente agua para que el banco de agua pura quede completamente lleno y este mantenga un nivel constante mientras la práctica (Si es necesario colocar una manguera con una toma para mayor facilidad) []
6. Suministrar la suficiente agua coloreada en el banco de la tinta percatandose que el nivel de esta se mantenga constante. []

Ahora ¿Que vamos a hacer?

Cuando ya tengas listo el montaje vamos a hacer lo siguiente:

- Dejar que la máquina funcione. Comenta cómo se comportan las líneas de agua con tinta.

- Coloca mínimo 3 diferentes accesorios (Objetos para interactuar con el medio) y observa cómo se comportan las líneas de tinta con los obstáculos. Comenta cómo se comportan estas líneas de agua.

- Realiza una ilustración con respecto a lo observado en el montaje.



Si aún no te queda tan claro ¿Por qué no utilizamos otro montaje? ¡Vas a hacerlo!

Se presenta, la cubeta de líneas de flujo el cual se encuentra aún más completa que el montaje anterior, con ello poder evidenciar mejor el comportamiento de este fenómeno.

Materiales

- Cuneta de líneas de flujo
- Objetos para interactuar con el medio (Accesorios de la cubeta de líneas de flujo)
- Reflector
- Conexión a una toma de agua
- Tinta (Colorante artificial)
- 3 mangueras transparentes
- Recipiente de tinta con válvula de paso
- Boquilla para la llave
- Soporte universal
- Una varilla
- 2 pinzas nueces para soporte universal



Ilustración 2 Materiales montaje 2

¿Qué vamos a hacer?

1. Reúne todos los materiales []
2. Colorea el agua ¿Cómo así? Agrega unas cuantas gotas del colorante o tinta y agítalo hasta que quede de color que quieras []
3. Coloca el agua pintada en el recipiente con válvula de paso. Cabe aclarar que esta se debe encontrar cerrado de inmediato colocar el recipiente de tinta en el soporte universal **posdata:** La tinta tiene que quedar más alta que la cubeta. []
4. Ubicar la cubeta de líneas de flujo encima del proyector. **Posdata:** Este lugar tiene que estar cercano a una toma de agua y a su vez con desagüe []
5. Colocar una de las mangueras transparentes al desagüe de la cubeta y dejarla cerca del sifón, también colocar la otra manguera al recipiente de tinta y conectarlo en la parte de salida de tinta []
6. Colocar el conector de manguera a la llave del agua y colocar la tercera manguera al banco de agua de la cubeta de líneas de flujo. []
7. Encender el proyector y abrir la llave del agua **Posdata:** Ten cuidado con la cantidad de agua con la cual estas utilizando. []

Ahora ¿Que vamos a hacer?

Cuando ya tengas listo el montaje. Vamos a hacer lo siguiente:

- Dejar que la máquina funcione. Comenta cómo se comportan las líneas de agua con tinta. Juega un poco variando la altura de estas.

- Coloca 3 diferentes accesorios (Objetos para interactuar con el medio) y observa cómo se comportan las líneas de tinta con los obstáculos. ¿Qué es lo que estás observando en cada uno de los casos?

- Toma un accesorio que tenga ángulos rectos y otro que no. Comenta ¿Qué es, lo que estás observando y si notas alguna diferencia?

- ¿Tú crees que este fenómeno se podría encontrar en la vida cotidiana que no fuera en el agua? si tu respuesta si ¿Cuál fuese esa analogía?

- Qué puedes comentar de la práctica experimental anterior y esta saca tus propias conclusiones.

- Para finalizar con esta segunda parte se traen algunos videos donde se ve el mismo efecto de las líneas de flujo, pero con tiza en el aire para complementar esta concepción.

Video para complementar

- <https://www.youtube.com/watch?v=DlvTWBP4BMo> Este es de como un avión deja una muestra de humo en el aire y con ello se pueden observar el comportamiento de las líneas de flujo en el aire.

Alcance de la actividad

Estas preguntas se pensaron para generar una discusión con respecto a aproximar al concepto de medios continuos, líneas de flujo y como los objetos se ven inmersos en este tipo de medio. Para finalizar se realizará unas pequeñas apreciaciones sobre estos conceptos en forma de plenaria para así tener homogeneidad con respecto al lenguaje utilizado en este fenómeno.

Tercer momento

- Las actividades que se presentan a continuación tienen el funcionamiento de poder aproximar a las apreciaciones de como un gas se comporta como un fluido. Este a su vez, se comporta como un medio continuo y con ello evidenciar físicamente los efectos de vórtice y vorticidad que se presentan en un instante determinado.
 - Se necesita un espacio aislado, con los recursos necesarios para la actividad, preferiblemente estar en penumbras con un poco de luz para visualizar mejor el efecto.

¿Es el aire un fluido?

Objetivo: Encontrar la relación que tienen los gases con la mecánica de fluido, mediante su comportamiento, y con ello abordar los conceptos de vórtice y vorticidad.

Se presenta a continuación, dos experiencias en las cuales se tiene de antemano poder aproximar al estudiante a evidenciar que el aire se comporta igual que un fluido, cabe aclarar que este efecto solo se logra a ciertas velocidades (menores a 50km/h). Con ello, poder trabajar los conceptos de vorticidad y vórtice en un medio continuo.

Veamos qué sucede si aplicamos algunos de los conceptos vistos anteriormente, te has preguntado, ¿Por qué el aire se comporta de esta manera? Por ejemplo: Cuando observamos las nubes encontramos formas muy particulares en ella o cuando estamos corriendo sentimos como el aire roza con nuestro cuerpo ¿Qué es lo que está sucediendo en este momento? Pues... ¡vamos a averiguarlo!

Materiales

- Fósforos
- Una varita de incienso
- Plastilina



Ilustración 3 Materiales montaje 3

¿Estás listo? Comencemos

1. Reúne todos los materiales []
Nota: En nuestra primera práctica utilizaremos solo los fósforos la varita de incienso y la plastilina
2. Toma un poco de plastilina y colócalo sobre una superficie plana []
3. Coloca la varita de incienso clavada en la plastilina []
4. Enciende la varita de incienso y observa []

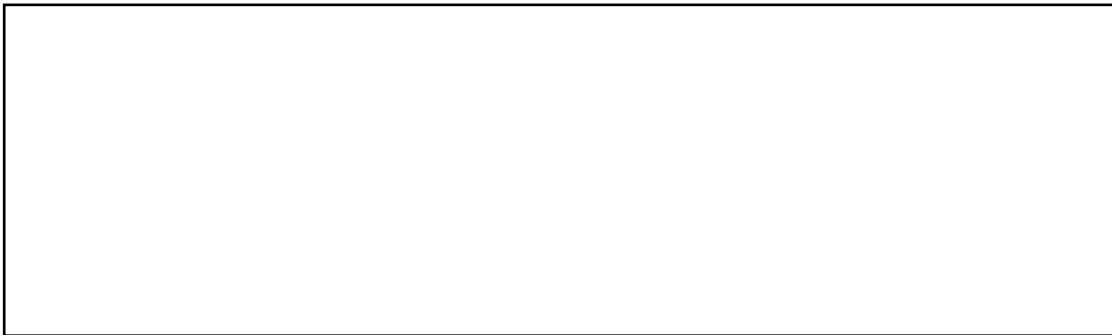
Que puedo observar

- Comenta que sucede con el humo que sale de la varita.

- ¿Qué papel juega el humo de la varita con respecto a nuestra práctica anterior (Cubeta de líneas de flujo)?

- Si, das un soplido al humo que sale de la varita que sucede. Repítelo varias veces y comenta que es lo que observas.

- Ahora bien, ilustra lo que estás observando.



- A continuación, se presenta el segundo montaje experimental con el cual posibilita ver el comportamiento no solo de un gas como lo es el vapor de agua si no también como el agua juega un papel fundamental en el estudio de la mecánica de fluidos.

Materiales que necesitamos utilizar

- Agua
- Una estufa
- Un agitador
- Un vaso o recipiente donde podamos calentar el agua



Ilustración 4 Materiales montaje 4

¿Qué vamos a hacer?

1. Reunir los materiales []
Nota: En este caso tomaremos El recipiente para calentar agua, la estufa, agua y un agitador.
2. Colocar 300 ml de agua en recipiente para calentar []
3. Calentar el agua hasta su punto de ebullición []
4. Observar el vapor de agua y comentar lo siguiente. []

Coméntanos

- ¿Qué formas se pueden evidenciar en el vapor de agua?

- Si, agitamos el agua durante un tiempo determinado. ¿Qué se puede observar?
Intenta agitando 20, 30 y 60 segundos

- ¿Qué relación tiene el vapor de agua con nuestra práctica anterior (La varita de incienso)?

-
-
- Sacar tus propias conclusiones sobre qué papel juega el aire como fluido.
-
-

- Para finalizar con esta tercera parte, se traen algunos videos donde se ve el mismo efecto de las vorticidad y vórtices, con ello, complementar esta concepción trabajada.

Video para complementar

<https://www.youtube.com/watch?v=SM5BbxouhPE> Este video presenta como también en el agua se comporta como medio continuo y se evidencia los efectos de vorticidad y vórtice

Alcance de la actividad

Estas actividades propuestas, juegan un papel fundamental en las apreciaciones de como el aire se comporta como un fluido y en general todos los gases menores a una velocidad de 50 km/h. Con ello se pretende también abarcar el concepto de vorticidad y vórtice en los medios continuos esto se aclarará en la última practica experimental, dando así un acercamiento más próximo a lo establecido.

Cuarto Momento

- En nuestra última practica experimental, abordaremos todos los conceptos trabajados anteriormente para así poder hablar sobre el concepto de turbulencia y este qué papel juega en nuestra vida cotidiana.
 - Se tiene en cuenta las instalaciones pertinentes para el montaje, es decir tener fuentes de agua con desagües para el desarrollo de la actividad y los materiales pertinentes de la actividad

A través de las cañerías de la turbulencia

Objetivo: Aproximar al concepto de turbulencia por medio de la práctica experimental visualizando como este genera un comportamiento particular en los medios continuos.

- En la presente parte del ambiente, la comenzaremos con una lectura sobre la como se manifiesta la turbulencia y el papel que juega en nuestra naturaleza.

Pasado por agua

Muchos libros nos hacen vivir las aventuras que cuentan. ¡Las expediciones, los viajes, los naufragios y los ataques de piratas nos parecen tan reales! Tanto es así que algunas veces los lectores se dejan llevar por su imaginación.

Entonces, Liria, la bibliotecaria, tiene que solidarizarse con el lector, aunque no entienda ni jota de lo que pasa.

¡Con éste ya van cinco libros que lees sobre aventuras en el mar, Leo! ¿Te gustan este tipo de historias?

Muchísimo. Cuando sea grande voy a ser marino Señorita Liria, porque yo leo los relatos y es como si los viviera, ¿me entiende? Parece que toda la naturaleza creciera a mi lado y que los personajes vivieran junto a mí.

¡Mira si llegas a tener tu propio barco y vivir las aventuras que ahora encuentras en los libros!, yo sé que lo puedes lograr.

¡Eso sería fantástico! Ahora, voy a hablar con el profesor de guitarra y a la vuelta me llevo el libro.

La biblioteca estaba en el primer piso de un centro cultural y para ir a la clase del profesor de guitarra, se debía pasar por los baños.

El pasillo estaba en silencio porque era un momento de clases y nadie circulaba por el lugar, de modo que Leo escuchó claramente que el grifo del baño de los varones goteaba regularmente.

Estos chicos, nunca se acuerdan de cerrar los grifos -Reflexionó como él escuchaba que lo hacía la portera en la escuela-. Entró y cuando intentó cerrar, el grifo se soltó de su engranaje y un chorro de agua saltó al lavamanos. Estaba por llamar a alguien para que arreglara el desperfecto, cuando los otros dos grifos hicieron lo mismo. Al momento el lavamanos estaba por desbordar.

-Parece que está tapado-

Pero no pudo arreglar nada, porque de los grifos comenzaron a salir tremendos chorros que llegaban hasta el techo. Ya caía toda el agua de los lavamanos y crecía el nivel de esta en el piso. En ese momento, se abrió una ventanita que daba al patio, que siempre estaba cerrada

por precaución, y comenzó a soplar un viento que pronto se convirtió en ráfagas estremecedoras. El agua que continuaba subiendo, comenzó a formar olas, unas olas tremendas como si se formaran en el medio de un mar embravecido. Se estrellaban contra las paredes, retrocedían y volvían a golpear contra ellas.

En medio de esa catástrofe, Leo se defendía lo mejor que podía. Intentó abrir la puerta para salir al pasillo. Pero la presión del agua era tan fuerte que no pudo hacerlo. -Alguien va a escuchar este estruendo, además debe estar saliendo agua para el pasillo, pensó Leo.

Seguro que pronto vendrán a auxiliarme. Pero las aguas seguían creciendo y la turbulencia era tal que los remolinos se formaban aquí y allá. El viento seguía entrando con silbidos ululantes, y sus ráfagas furiosas levantaban olas enormes que lo elevaban al muchacho hasta golpearlo contra el techo y luego lo hundían hacia las profundidades.

- ¡No me está pasando a mí, no me está pasando a mí! Es una pesadilla, no sé cuándo me dormí, pero seguro que me voy a despertar pronto- Leo no podía creer lo que estaba sucediendo, pero las embestidas del agua eran tan fuertes que no le daba tiempo de pensar cómo escapar de allí. Él era buen nadador en la piscina del club del barrio, pero esto era otra cosa, porque las olas que lo golpeaban con furia, no le daban posibilidad de respirar.

De pronto una de las tablas se desprendió del marco de la ventana y lo golpeó fuertemente en la frente. Sintió un líquido caliente que le caía por la cara, pero se repuso y consideró que ésta podía ser una posibilidad de salvación.

Tomó la tabla con fuerza y, conteniendo la respiración, comenzó a golpear uno de los vidrios de la puerta. Al fin hizo un agujero por donde comenzó a salir el agua con tanta furia que al momento se rompió todo el vidrio y la puerta se hizo pedazos contra el piso.

Leo fue arrojado al pasillo y cuando quiso incorporarse vino una ola enorme que lo arrastró otra vez hacia los baños. Ya casi al límite de sus fuerzas, esperó que una ola lo arrojara afuera y se sostuvo como pudo contra una columna del pasillo. Nunca supo cómo pudo incorporarse y correr para salvarse. Jadeando y al borde de la desesperación, se presentó frente a la bibliotecaria.

-Leo, ¿qué te pasó que estás todo mojado? ¿Cómo te hiciste esa herida en la frente?

-Señorita, no me va a creer si le cuento. Por si acaso, avise al plomero que venga enseguida.

-Y tú tampoco me vas a creer lo que te voy a decir. Tú me pediste Robinson Crusoe de Daniel Defoe. Bueno, cuando lo abro veo que tiene todas las páginas en blanco, como si el agua las hubiera borrado. ¿No te parece que es muy extraño?

- ¡Las cosas que pasan en esta biblioteca, señorita!

- ¡Dímelo a mí, Leo!

Fin

Preguntas

- ¿Cuál es la idea central de la lectura?

- ¿Qué papel juega Leo cuando el agua se encuentra en constante movimiento?

- Después de la lectura, se presenta el montaje experimental fuerte del trabajo de grado el cual es el canal de corrientes, este montaje posibilita evidenciar y generar un buen cierre para poder aproximar al concepto de turbulencia.

Ahora, después de la lectura te propongo que realicemos la siguiente práctica experimental.

Materiales

- Canal de corrientes
- Accesorios (Objetos que generen una perturbación en el canal)
- Agua
- Partículas (semillas de chíá)
- Lámpara



Ilustración 5 Materiales montaje 5

Comencemos

1. Reunir los materiales []
2. En la abertura superior del canal de corrientes suministrar la cantidad de agua necesaria para el funcionamiento. []
3. Colocar las partículas (Semillas de chíá) en el agua. []
4. Colocar la lámpara al frente del vidrio y que este muestre una proyección a una pantalla blanca o en su defecto a la pared. []
5. Encender el motor del canal de corriente []

Que puedo observar

- ¿Cómo se comportan las partículas dentro del canal de corrientes?

- Coloca varios objetos con diferentes formas dentro del canal de corrientes comenta lo que observas en cada uno de los casos.

- Utilizando la cámara de tu teléfono con ella realiza varios videos del comportamiento del canal, con un objeto en particular, ten presente que debes variar la velocidad de este en cuatro menos distintos ¿Que puedes observar?

- Piensa que te encuentras dentro del canal de corrientes a una escala microscópica ¿Qué papel jugarías y que pasaría contigo?

- Teniendo en cuenta todas las actividades experimentales anteriores comenta que factores representan un movimiento turbulento en un medio continuo

- ---

Para finalizar con esta Cuarta parte se traen algunos videos donde se ve el mismo efecto de las líneas de flujo, pero con tiza en el aire para complementar esta concepción.

Video para complementar

<https://www.youtube.com/watch?v=1kOnDqG7dRk> Este video trae de antemano todos los efectos de la turbulencia y este como se puede evidenciar en la cotidianidad.

Alcance de la actividad

Con este último montaje, se quiere alcanzar reflexiones sobre los conceptos ya trabajados, con ello, precisar el concepto fundamental de toda la actividad presente que es la turbulencia presentando, así como la practica experimental juega u papel fundamental para la enseñanza de los medios continuos.

Quinto Momento

- En este último momento de la unidad, se presentan diversas actividades enfocadas para sacar las reflexiones finales de todo el trabajo realizado por los estudiantes o grupo que interactuó, con ello evidenciar las concepciones de los estudiantes sobre este tema.
- En este momento, requiere un espacio determinado para que el estudiante o el participante pueda sentirse ameno y vea todas las ilustraciones y consideraciones ya realizadas para dar conclusiones de lo trabajado durante todos los momentos anteriores

Objetivo

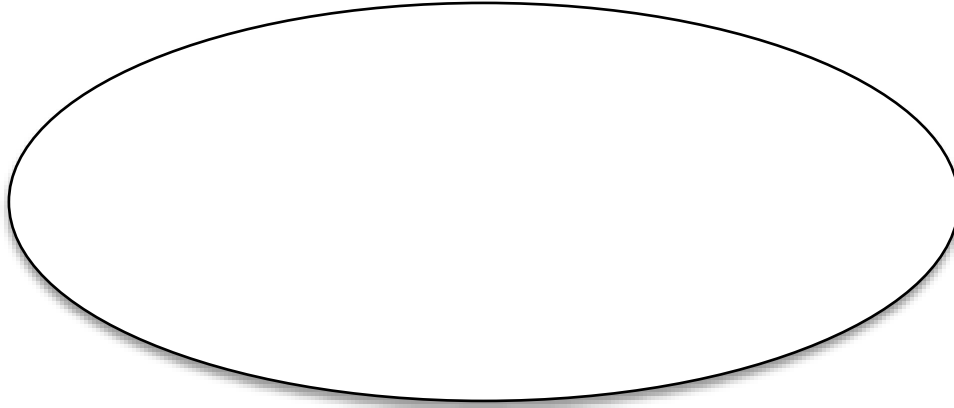
Encontrar las diferentes apreciaciones que tienen los participantes después de interactuar con todo el proceso metodológico mediante algunas preguntas orientadoras sobre las líneas de flujo, en específico, la turbulencia.

Pregúntate

- ¿Cuáles son las caras características que tiene el movimiento de un río?

- Si una persona comenta que su vida es turbulenta. ¿A qué se está refiriendo?

- Ilustra uno de los fenómenos turbulento.



Completa

- Las _____ de _____ dan la dirección de la velocidad de flujo para cada punto del espacio continuo.
- Un _____ de _____ esté compuesto de un manejo o _____ de líneas de flujo.
- El _____ se puede tratar como un _____ incomprensible hasta velocidades de _____ metros/seg
- Si se coloca un _____ en un líquido que fluye con velocidad _____, el líquido se _____ precisamente ante el _____ y las líneas de _____ se dividen en dos ramas, una a cada lado del _____.
- La aparición del flujo _____ se caracteriza por un _____ en la fuerza que se opone al _____ del cuerpo, dando lugar a la llamada resistencia de presión.

CONSULTA:

Si quieres indagar un poco más sobre este tema te recomendamos la siguiente consulta:

- Comportamiento de los medios continuos
- Aplicaciones de la turbulencia en la industria aeroespacial
- Pensamiento de entropía y entalpia en los medios continuos.

EVALUACIÓN

Para la evaluación pertinente cada uno de los momentos se tendrá en cuenta la siguiente rúbrica.

	Puntuación 5	Puntuación 4	Puntuación 3	Puntuación 2	Puntuación 1
Participación en las actividades.	El estudiante participó activamente y pregunto frecuentemente en la actividad.	El estudiante participó moderadamente y pregunto regularmente en la actividad.	El estudiante participó y generó muy pocas preguntas en la actividad.	El estudiante participó muy poco y no pregunto en la actividad.	El estudiante no participó activamente y no pregunto con en la actividad.
Desarrollo de las actividades establecidas.	El estudiante desarrollo por completo la actividad propuesta.	El estudiante desarrollo casi por completo la actividad propuesta.	El estudiante desarrollo parcialmente la actividad propuesta.	El estudiante desarrollo menos de lo parcial de la actividad propuesta.	El estudiante no desarrollo por completo la actividad propuesta.
Concepción de cada uno de los conceptos a trabajar.	El estudiante es capaz de diferenciar y hablar con propiedad del concepto trabajado.	El estudiante es medianamente capaz de diferenciar y hablar con propiedad del concepto trabajado.	El estudiante relaciona algunas diferencias del concepto trabajado.	El estudiante no distingue claramente las diferencias del concepto trabajado.	El estudiante no es capaz de diferenciar y hablar con propiedad del concepto trabajado.

CONCLUSIONES

- El estudio de los medios continuos es parte esencial para los maestros en formación, ya que, con ello, tendrán herramientas teóricas y experimentales para el desarrollo de la temática en un futuro como docentes activos en el aula de ciencias.
- Los ambientes académicos juegan un papel fundamental en el desarrollo de las diferentes temáticas de enseñanza, puesto que con ellas se genera una adecuada relación entre los estudiantes, las actividades y el docente.
- La importancia del desarrollo de herramientas lúdicas para abordar los diferentes tópicos de la física y con ello sugerir las diferentes salidas o momentos externos del aula de clase.

- El papel que juegan las actividades experimentales en el proceso de construcción de conocimiento y con ello el papel histórico que cada una de ellas juega para modelar un sistema del mundo natural.
- El papel que juegan las interacciones comunicativas entre los estudiantes y el docente juegan un papel fundamental en el desarrollo de conocimientos.
- La relación teórica formidables del área fundamental, juega un papel fundamental para generar las diferentes actividades y ambientes sobre el tema a tratar en este caso sobre el concepto de turbulencia

REFERENCIAS

- Valero Michel, Física 1. Editorial Norma.
- Neuronas XAAP
- Sappington, E. (2013, 03). Archimedes' Principle, Pascal's Law and Bernoulli's Principle. Teach Engineering. Obtenido 05, 2018, de https://www.teachengineering.org/lessons/view/uoh_fluidmechanics_lesson01
- M. ARCA, P. GUIDONI y P. MAZOLI, (1990). *El desarrollo del proceso cognitivo como tarea de la educación. Enseñar ciencia como empezar reflexiones para una educación científica de base (pp. 1-18). Barcelona. Paidós: Rosa Sensa*
- Fernández, I. Gil Pérez, D. D. Valdez, P. Vilches, (2005) ¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años. ¿Qué visiones de la ciencia y la actividad científica tenemos y transmitimos? Santiago, UNESCO
- Fourez G. (1994). Alfabetización científica y tecnológica. Objetivos operacionales