

Análisis conceptual en la mecánica de fluidos: Las líneas de flujo como concepto
organizador

Juliette Andrea Gutiérrez Chitiva

Trabajo de grado para optar por el título de:

Licenciada en Física

Línea de investigación:

Enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencias y Tecnología, Departamento de Física.

Bogotá, Colombia

2013

Análisis conceptual en la mecánica de fluidos: Las líneas de flujo como concepto
organizador

Juliette Andrea Gutiérrez Chitiva

Trabajo de grado para optar por el título de:

Licenciada en Física

Asesor:

Juan Carlos Castillo Ayala

Línea de investigación:

Enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencias y Tecnología, Departamento de Física.

Bogotá, Colombia

2013

El hecho que yo esté en este punto de mi vida se lo debo a Dios por esta y todas las bendiciones que me da cada día. Agradezco a mi familia a mi Má y su comprensión, a mi Pá por su apoyo, a mi hermanito por cada una de las cosas que hizo para que esto se pudiera lograr a Mile, a mi tía Marthica y su familia, gracias a ellos por soportar cada traspasada, cada alegría, cada lágrima, cada rabieta y cada locura durante este proceso, agradezco a Dianita por su compañía incondicional y por sus oraciones, gracias a Juan David por los chistes y compañía en todo momento, a Joyce por las velitas, a Sandra y Jennifer por los momentos de desesteres, a Oscar por su compañía y a Cesar por la paciencia y por ayudarme con una charla para despejar mi mente cada vez que lo necesite, gracias al Profe Juan Carlos por soportar las citas incumplidas y por las llamadas a cada rato.

Todo esto es gracias a Dios...

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de Grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	Análisis conceptual en la mecánica de fluidos: Las líneas de flujo como concepto organizador
Autor(es)	Juliette Andrea Gutiérrez Chitiva
Director	Juan Carlos Castillo Ayala
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional. 2013. 40p
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	Recontextualización, análisis conceptual, flujo, línea de flujo.

2. Descripción
<p>Haciendo una revisión sobre cómo el hombre se ha preocupado por adquirir conocimiento al pasar el tiempo y su constante interés por dar explicación a los eventos físicos que lo rodean, encuentra en la enseñanza de las ciencias un medio para que el resto de los hombres interpreten el comportamiento de la naturaleza. Entonces cuando llega a los escenarios académicos en los que puede dar a conocer toda su experiencia, se enfrenta con que la descripción de algunos eventos físicos que se enseñan se hace de forma aislada, como sucede en algunos cursos introductorios de física en la universidad, pues hay aspectos pertinentes e importantes que se muestran de forma vaga y poco precisa, de tal manera que en la enseñanza no se logren construir espacios en los cuales se precisen conceptos relevantes en la explicación de fenómenos físicos. En ese sentido se encuentra la necesidad de poder elegir problemas para ser abordados desde lo disciplinar, lo cual permite enriquecer en gran medida el conocimiento, logrando dar una mejor organización al espacio de la enseñanza de la física. (Castillo, 2004)</p> <p>Así que la elección de estos problemas debe ser de forma exhaustiva y con cierto criterio, lo cual apoye esa recolección de temas de la física que se van a enseñar más adelante, de esta forma es pertinente hacer propuestas pedagógicas que no sólo se caractericen por sus aspectos disciplinares, sino que permitan la construcción de contenidos, que promuevan la estructuración de situaciones, el planteamiento de problemas y desarrollo de explicaciones de los eventos que describe la física. Desde este punto de vista la organización y selección de problemas cobra importancia en el estudio de la mecánica de fluidos para la formación de docentes de física (Gómez, 2005).</p>

3. Fuentes

- Ayala, M. M. (2005). Análisis histórico - crítico y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pre-impresos Facultad de Ciencia y Tecnología Departamento de Física*, 1 - 17.
- Castillo, J. C. (2004). *El concepto de corriente y la perspectiva dinámica*. (D. d. Física, Ed.) Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Castillo, J. C. (2008). La historia de las ciencias y la formación de maestros: la recontextualización de saberes como herramienta para la enseñanza de las ciencias. *Nodos y Nudos*(25), 73-80.
- Gomez, A. (2005). *ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA DINÁMICA DE FLUIDOS: FENÓMENOS DE VORTICIDAD Y VORTICES*. Bogotá, Colombia: Universidad Pedagógica Nacional.
- Herrmann, F. (1984). Analogy between mechanics and electricity. *European Journal of Physics*, 16 - 21.
- Marcelo Alonso, E. F. (1977). *Física Volmumen 2: Campos y ondas*. Fondo educativo interamericano, S.A.
- María Mercedes Ayala, Á. E. (2008). *Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos*. Bogotá: Kimpres.
- María Mercedes Ayala, F. M. (2004). De la Mecánica Newtoniana a la actividad de organizar fenómenos mecánicos. *Física y Cultura Cuadernillo sobre la historia y enseñanza de las ciencias* , 65- 78.
- Maxwell, J. C. (1873). *A Treatise on Electricity and Magnetism*. London: Oxford.
- Tokaty, G. (1971). *A History and Philosophy of Fluid Mechanics* . London: Dover Publications, INC. .

4. Contenidos

Capítulo 1: Análisis de corte conceptual y recontextualización de saberes científicos para la enseñanza de la física.

Evidenciar la importancia del análisis conceptual y la recontextualización de saberes científicos en la formación de docentes en los cursos introductorios de la universidad.

Capítulo 2: concepto de línea de flujo.

Utilizar el concepto de línea de flujo para hacer un análisis conceptual el cual permite hacer una organización de la hidrodinámica en la mecánica de fluidos, desde la perspectiva cinemática y dinámica.

Capítulo 3: Reflexión en torno pedagógico de la perspectiva del trabajo y conclusiones.

Se reflexiona acerca de la importancia de la mecánica de los medios continuos en los cursos introductorios de la universidad, pues es la base del desarrollo del electromagnetismo.

5. Metodología

El desarrollo del proyecto se realizara por medio de un análisis de textos y documentos de física que aborden problemáticas relativas a la mecánica de fluidos, especialmente sobre el concepto de líneas de flujo, además de estar relacionados con la enseñanza de la física.

El análisis de corte conceptual que se plantea será un proceso fundamental para la construcción de actividades y situaciones en donde se pueda evidenciar el desarrollo del concepto de líneas de flujo en el aula en el campo de la hidrodinámica.

De tal manera que sea un espacio propicio para hacer una serie de planteamientos que inviten a reflexionar a los docentes de física acerca de cómo “la enseñanza de las ciencias tradicionalmente ha centrado sus esfuerzos en la asimilación de las teorías por parte de los estudiantes, dejando de lado la comprensión de los fenómenos y productos que dieron origen a tal actividad científica” (Castillo, 2008).

En lugar de permitir la construcción de escenarios en los cuales se pueda generar conocimiento a través de la discusión de teorías, conceptos o leyes, y de esta manera se logra configurar problemáticas de la enseñanza de la física.

- Análisis de textos
- Análisis conceptual
- Selección de situaciones y experiencias en la hidrodinámica

6. Conclusiones

- Las líneas de flujo permiten hacer una descripción, de tal manera que se haga explícito como se dan las acciones en los medios continuos y como se relaciona con las magnitudes que describen el estado del sistema y sus transformaciones.
- Las líneas de flujo se constituyen en representaciones geométricas mucho más cercanas a las imágenes que se tienen del comportamiento del fluido en movimiento y permiten dar más sentido a las ecuaciones que definen los flujos en los medios continuos.
- Un análisis de corte conceptual como el que se realizó permite establecer criterios y posibles rutas para la enseñanza de la mecánica de fluidos y de la física en general.
- A partir de las dos perspectivas que se estudia el concepto de la línea de flujo en la hidrodinámica se hacen aportes desde lo didáctico, dando elementos que ayudan a llevar al aula conceptos tales como el de campo, el de la ley de Gauss, y todos los aspectos relacionados con el electromagnetismo.
- Es la mecánica de fluidos que se da en los cursos introductorios en la universidad, donde se puede empezar a hacer aportes a la comprensión de la teoría de campos desde los conceptos que maneja (líneas de fuerza, flujo, líneas de fuerza) encontrando una mejor comprensión de la mecánica de los medios continuos, lo cual permite adquirir destreza para la comprensión del electromagnetismo.

Elaborado por:	Juliette Andrea Gutiérrez Chitiva
Revisado por:	Juan Carlos Castillo Ayala

Fecha de elaboración del Resumen:	4	12	2013
--	---	----	------

CONTENIDO

Presentación	10
Introducción	11
CAPITULO 1	14
ANÁLISIS DE CORTE CONCEPTUAL Y RECONTEXTUALIZACIÓN DE SABERES CIENTÍFICOS PARA LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA.....	14
CAPITULO 2	17
CONCEPTO DE LÍNEA DE FLUJO	17
La Hidrostática	19
La Hidrodinámica.....	20
Perspectiva cinemática:	23
Perspectiva dinámica.....	25
CAPITULO 3	39
Reflexión en torno pedagógico de la perspectiva y del trabajo y conclusiones.	39
Conclusiones	43
Bibliografía	44

TABLA DE FIGURAS

Capítulo 2	
Figura 1: Prensa hidráulica.....	16
Figura 2: Tubo de flujo (Ecuación de continuidad).....	17
Figura 3: Desequilibrio en un fluido.....	20
Figura 4: Partícula fluida.....	21
Figura 5: Transferencia de calor.....	23
Figura 6: Diferencia de presión.....	24
Figura 7: Elemento de volumen con diferencias de presión.....	25
Figura 8: diferencia de presiones con velocidad constante	28
Figura 9: Proporcionalidad entre magnitudes y variables de estado.....	29
Figura 10: Línea de flujo con velocidades.....	30
Figura 11: Camino de acción (Herrmann, 1984).....	31
Figura 12: Diferencia de presión.....	33
Figura 13: Diferencia de presión y deferencia de temperatura.....	33
Capítulo 3	
Figura 14: Flujo de corriente.....	36
Figura 15: Trayectoria de la velocidad.....	38
Bibliografía.....	40

Presentación

Al hacer una revisión sobre cómo el hombre se ha preocupado por adquirir conocimiento al pasar el tiempo y su constante interés por dar explicación a los eventos físicos que lo rodean, encuentra en la enseñanza de las ciencias un medio para que el resto de los hombres interpreten el comportamiento de la naturaleza. Es así que al llegar a los escenarios académicos en los que puede dar a conocer toda su experiencia, se enfrenta con que la descripción de algunos eventos físicos que se enseñan se hace de forma aislada, como sucede en algunos cursos introductorios de física en la universidad, pues hay aspectos pertinentes e importantes que se muestran de forma vaga y poco precisa, de tal manera que en la enseñanza no se logren construir espacios en los cuales se precisen conceptos relevantes en la explicación de fenómenos físicos.

“En ese sentido es que se encuentra la necesidad de poder elegir problemas para ser abordados desde lo disciplinar, lo cual permite enriquecer en gran medida el conocimiento, logrando dar una mejor organización al espacio de la enseñanza de la física”. (Castillo J. C., 2004)

Así que la elección de estas situaciones debe ser de forma exhaustiva y con cierto criterio, lo cual apoye esa recolección de temas de la física que se van a enseñar más adelante, de esta forma es pertinente hacer propuestas pedagógicas que no sólo se caractericen por sus aspectos disciplinares, sino que permitan la construcción de contenidos, que promuevan la estructuración de situaciones, el planteamiento de problemas y desarrollo de explicaciones de los eventos que describe la física. Desde este punto de vista la organización y selección de problemas cobra importancia en el estudio de la mecánica de fluidos para la formación de docentes de física (Gomez, 2005), en donde se encuentra el objetivo principal de este trabajo, el cual se enfoca en abordar problemas en el área de la hidrodinámica, rama que contiene una estructura conceptual que se puede ver desde otras perspectivas de la física.

Introducción

El trabajo que se presenta en este documento se desarrolla dentro del ámbito de la enseñanza de la física enfocado en aspectos disciplinares de la misma, en donde se pretende apoyar las reflexiones que se hacen acerca de la selección de situaciones o fenómenos de la física que se enseña en los cursos introductorios en la universidad; esto se realiza por medio de un estudio de corte conceptual de la dinámica de los fluidos en donde se procura hacer una configuración de propuestas para la manera en que se abordan algunos conceptos en el aula, en especial de la hidrodinámica.

En el departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional, no se encuentran trabajos relacionados con el concepto de línea de flujo como un elemento organizador en la mecánica; se encontró el trabajo de pregrado realizado por Andrea Gómez Pineda titulado *Análisis Conceptual De La Dinámica De Fluidos: Fenómenos De Vorticidad Y Vórtices* (Gomez, 2005) este trabajo se desarrolla con el fin de establecer estrategias para la enseñanza de la física por medio del concepto de vórtice y vorticidad en la dinámica de los fluidos; otro de los trabajos encontrados en la Universidad Pedagógica Nacional que apoya esta investigación es el trabajo realizado por el profesor Juan Carlos Castillo Ayala titulado *El Concepto De Corriente Y La Perspectiva Dinámica* (Castillo J. C., 2004) de maestría en docencia de la física, este trabajo presenta un *análisis conceptual para la enseñanza de la física desde la dinámica de construcción de conocimiento, a través de la configuración de fenómenos, elaboración de problemáticas y estructuración de explicaciones*. El trabajo está centrado en la corriente como concepto organizador de la explicación de los fenómenos dinámicos; en este contexto las líneas de flujo resultan particularmente relevantes, ya que dan cuenta de los caminos o trayectorias a través de las cuales se transporta una acción.

A partir de esto se evidenciaron algunas preguntas que aportaron a la construcción de un problema general en la mecánica de los fluidos para la enseñanza de la física, tales como: ¿De qué forma se pueden evidenciar las experiencias que dan lugar a la hidrodinámica a través de las líneas de flujo?, ¿Se puede usar el concepto de línea de flujo como un elemento organizador de la hidrodinámica? Fue entonces que se construyó la pregunta general, la cual sirvió de apoyo para el desarrollo de este trabajo.

¿Desde qué situaciones y consideraciones es posible hacer una organización de los fenómenos relacionados con la hidrodinámica, a través del concepto de líneas de flujo; que posibilite estructurar propuestas para la enseñanza de la mecánica de fluidos, en niveles introductorios?

Se propone en tres capítulos aportar una estrategia para la solución de esta pregunta, en el que objeto principal que tiene este trabajo es hacer un análisis, de corte conceptual de la hidrodinámica, mediante la selección de situaciones y fenómenos que involucren el concepto de línea de flujo; con el fin de aportar elementos, para la configuración de propuestas de enseñanza para la dinámica de fluidos a nivel introductorio.

Se desarrolla de esta manera puesto que al dar un vistazo a la mecánica clásica se encuentra en la hidrodinámica una herramienta de importancia para que la producción de conocimiento crezca significativamente, puesto que con los elementos que esta rama de la física aporta se puede lograr una estructuración y/o organización de la mecánica que se va a enseñar; sin dejar de lado que uno de los elementos importantes en este proceso es lograr una mejor comprensión de la física, además de tener los conceptos claros que se enseñan y la estructuración que se hace a lo largo de la enseñanza y del aprendizaje; de esta manera se puede encontrar la relación y el significado con los objetos de la física de tal manera que la producción de conocimiento se fortalezca en el aula.

Es por medio de este análisis conceptual que se hace de la hidrodinámica, en especial con el concepto de línea de flujo como elemento organizador de la misma, que se pueden seleccionar experiencias y situaciones que permitan hacer aportes desde lo disciplinar a la enseñanza de la física, dejando en claro que por lo general la dinámica de fluidos que se presenta en los cursos introductorios de la universidad no es muy amplia ya que no se le da un carácter importante tal como lo merece esta rama de la física.

Es así, que el análisis de corte conceptual que se plantea es un proceso fundamental para la construcción de actividades y situaciones en donde se pueda evidenciar el desarrollo del concepto de líneas de flujo en el aula en el campo de la hidrodinámica.

De tal manera que sea un espacio propicio para hacer una serie de planteamientos que inviten a reflexionar a los docentes de física acerca de cómo “*la enseñanza de las ciencias*

tradicionalmente ha centrado sus esfuerzos en la asimilación de las teorías por parte de los estudiantes, dejando de lado la comprensión de los fenómenos y productos que dieron origen a tal actividad científica” (Castillo J. C., 2008). En lugar de permitir la construcción de escenarios en los cuales se pueda generar conocimiento a través de la discusión de teorías, conceptos o leyes, pero que se enfoque en su mayoría a la manipulación de ecuaciones y solución de problemas matemáticos.

CAPITULO 1

ANÁLISIS DE CORTE CONCEPTUAL Y RECONTEXTUALIZACIÓN DE SABERES CIENTÍFICOS PARA LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

Un elemento importante que tiene el trabajo es presentar una forma por la cual el docente pueda tener una perspectiva o referencia más amplia al momento de enseñar una teoría en la clase de mecánica de fluidos, se recurre al estudio del concepto de línea de flujo a través del análisis conceptual acompañado de la recontextualización de saberes científicos como orientación al momento de presentar un concepto bajo esta perspectiva.

Ahora bien, el análisis conceptual tiene como principal objetivo mostrar una definición formal de cada concepto que se utiliza; es así que principalmente explica un panorama de posibles definiciones que tiene un concepto dentro del contexto en que se involucra, en donde se pretende precisar lo que el docente entiende y quiere dar a conocer a través de cada concepto que utiliza dentro del contexto en el cual habla, en este caso en la enseñanza de la física en la universidad, enfocado hacia el estudio de la mecánica de los fluidos.

En este caso el análisis conceptual aporta en gran medida, pues es una herramienta que se centraliza en cada significado que puede tener lo que se dice (conceptos, leyes o teorías) al momento de la cátedra. Por esta razón el análisis conceptual ayuda a tener conciencia de lo que se sabe de determinado tema, en donde impera todo conocimiento conceptual que se pueda tener al momento de responder preguntas con las que se puedan generar en espacios académicos.

El análisis conceptual se puede complementar con las investigaciones que se han hecho alrededor de la recontextualización de saberes científicos, puesto que plantea ciertas problemáticas en la enseñanza de las ciencias -en la enseñanza de la física-. Ya que la relación entre enseñanza-aprendizaje necesita atención tanto para el estudiante como para el docente, pues la comprensión e investigación son fundamentales para el buen desarrollo de la formación del estudiante de licenciatura en física. La fundamentación histórica y epistemológica dentro de la cátedra muestra aspectos de los procesos en la enseñanza y el aprendizaje de cada individuo. Esa fundamentación histórica permite tener herramientas

para la descripción de fenómenos naturales que se han involucrado a lo largo de la enseñanza de la física. Esto tiene que ver con aspectos sociológicos y epistemológicos de las ciencias, en cuanto a la difusión del conocimiento.

Y es a partir de esto, que la recontextualización de saberes científicos plantea que la formación de docentes en ciencias requiere una transformación en cuanto a lo que se enseña, puesto que la historia de las ciencias, la ciencia misma y la didáctica están en constante crecimiento (Ayala, 2005).

En la formación de docentes aporta en gran medida, ya que tiene un carácter que permite construir conocimiento científico, histórico y didáctico; además se presenta para el maestro como un recurso en y para la enseñanza, contribuyendo en varios aspectos, los cuales puede utilizar el maestro para generar espacios en los que no solo se discuta teoría y se ejercite el manejo de ecuaciones; aspectos como:

- Rescate del argumento que permite fortalecer el discurso tanto del docente como del estudiante, favorece en una estrategia didáctica para el desarrollo de una clase de ciencias en la universidad que permita el crecimiento del conocimiento individual y colectivo, para el desarrollo científico, esto ayuda significativamente a la comprensión ya sea de un concepto, ley o teorema.

Cuando se dice que el entorno en el cual el docente de ciencias aprende está sufriendo transformaciones es porque hay dos aspectos importantes a los que se ve enfrentado, en primer lugar cuando solo atiende a una enseñanza formal en cuanto al almacenamiento de conocimiento científico. Otro es cuando en las aulas de clase se discuten temas relacionados a la historia o a la epistemología de las ciencias, en las que se pretende hacer espacios de reflexión de la ciencia.

Ahora bien, surge un interrogante el cual genera que el docente formador pueda contribuir de alguna manera al docente que está siendo formado:

“¿Cuál de las dos aproximaciones entra en juego en las practicas concretas de la enseñanza de las ciencias? máxime si se tiene en cuenta que usualmente la forma como el profesor de ciencia aprende el saber disciplinar constituye para él el principal referente o modelo de enseñanza a nivel práctico”.¹

Y es por esta razón que en el presente trabajo se pretende hacer evidente ciertos aspectos que se deberían reforzar o reformar en la enseñanza de la mecánica de fluidos en los primeros cursos de la universidad.

A medida que se avanza en el trabajo se puede notar que la pertinencia en citar ejemplos, acontecimientos históricos dentro de la física, es de gran importancia ya que con aspectos como estos se puede contextualizar puntos de vista de los científicos a la base de la mecánica de fluidos.

Ahora bien, en cuanto la enseñanza de la física se ha sacado varias conclusiones en cuanto a la enseñanza de la ciencia, algunas de estas son:

- Las preguntas que requieran razonamiento cualitativo y explicación verbal son esenciales para evaluar el aprendizaje de los estudiantes, como una estrategia efectiva.
- Los estudiantes necesitan desarrollar varias veces prácticas en las que interprete el formalismo físico y lo relacionen con el mundo real.
- Los estudiantes necesitan participar en procesos de construcción de modelos cualitativos. (Ayala, 2005)

Esto evidencia que la forma cómo se llevan las clases en la universidad son radicales en los procesos de enseñanza-aprendizaje, es así que con esto se pretende mostrar la importancia que tienen los estudios de corte conceptual en este caso de la mecánica de fluidos para ser enseñados luego en la universidad.

¹ (Ayala, 2005)

CAPITULO 2

CONCEPTO DE LÍNEA DE FLUJO

El estudio del movimiento permite distinguir, en general, dos ámbitos fenomenológicos. Uno relacionado con el movimiento de cuerpos en el espacio, bajo la suposición que los cuerpos son independientes del espacio, esto es, que su movimiento no se ve afectado ni afecta al espacio; el estudio de estos fenómenos da origen a la mecánica de lo discreto, de la cual la mecánica newtoniana es de la que se tiene mayor referencia.

El otro ámbito fenomenológico es el que está relacionado con el movimiento de los medios continuos; los esquemas de análisis y organización necesaria para dar cuenta del movimiento de estos medios son muy diferentes de aquellos utilizados en la mecánica de lo discreto, ya que en primer lugar, no es posible distinguir, en el análisis, el espacio del medio; y en segundo lugar, porque el movimiento de cada parte del medio no se puede ver independientemente de todo el sistema; además, en contraste con la mecánica de lo discreto, en la cual los cuerpos pueden ser asumidos, para el análisis, como partículas, en la mecánica de los medios continuos siempre los cuerpos son considerados con extensión aunque se piense una pequeña parte de estos.

Otro aspecto, es que en el estudio de los medios continuos requiere que éstos sean asumidos como sistemas, en los cuales el cambio de estado de las distintas partes del mismo se relacionen como acoplados, esto quiere decir que sus partes no cambian su estado de manera independiente, sino que el cambio de estado de una parte está determina por los cambios de estado en sus vecindades, lo que ocurre en los fenómenos de transporte. (Marcelo Alonso, 1977)

Dentro de la mecánica de los medios continuos un ámbito fenomenológico muy importante es aquel que se centra en el comportamiento de los fluidos, particularmente los líquidos; ya que aporta elementos conceptuales y formalizaciones que constituyen la mecánica de fluidos.

Ahora bien, la mecánica de los fluidos se suele estudiar desde dos ámbitos fenomenológicos: uno de estos es la hidrostática, la cual se presenta comúnmente como el estudio de los fluidos en reposo; y la hidrodinámica, que se presenta como el estudio del movimiento de los fluidos. Pero, en términos más precisos se puede decir que la hidrostática es el estudio de fluidos en condiciones de equilibrio, y la hidrodinámica el estudio del comportamiento de los fluidos en condiciones de desequilibrio, por lo cual se aborda la descripción de los cambios de estado del fluido relacionados con los procesos de equilibración de los mismos.

Por otra parte, vale la pena mencionar que el desarrollo de la mecánica de los fluidos como teoría física estuvo determinada por trabajos de científicos como Leonard Euler (1707 – 1783), Joseph Louis de Lagrange (1736 – 1813) y William Rowan Hamilton (1805 – 1865) los cuales aportaron en gran medida, con las descripciones cualitativas y formalizaciones matemáticas en este ámbito, para dar cuenta del movimiento de los líquidos o gases. Dentro de estas descripciones se pueden distinguir dos enfoques, uno propuesto por L. Euler que tiene que ver con el concepto de partícula fluida, esta la señala como instrumento para la descripción en la mecánica de fluidos tanto desde un punto de vista físico o matemático, porque una partícula fluida es un cuerpo infinitesimal que se comporta como un punto cuando se le trata desde la matemática; y como un cuerpo con extensión o lo suficientemente grande como para asignarle características físicas tales como masa, volumen, densidad, etc. Es así que Euler define la masa como el producto del volumen por la densidad de masa del fluido que ocupa el volumen, (Tokaty, 1971) es por esto que en este tipo de descripción del comportamiento del fluido el análisis hace un seguimiento al desplazamiento y al movimiento de la partícula fluida.

El otro enfoque es el propuesto L. Lagrange que se basa en la idea de estado del fluido, y los cambios de estado del mismo sin ver el comportamiento de cada una de las partículas fluidas que conforma el fluido, sino más bien estudiando el comportamiento del fluido tomando una sección de este para observar cómo se comporta el flujo y el fluido a través de dicha superficie, teniendo en cuenta variables de estado como la velocidad, la temperatura y el flujo de momentum o de masa.

Llegando a este punto, es pertinente mencionar aspectos de la hidrostática, que permiten tener un enfoque más preciso de los aspectos centrales a desarrollar, haciendo diferencia entre la dinámica y la estática de fluidos.

La Hidrostática

Como se mencionó anteriormente, la hidrostática tiene como objeto el estudio los fluidos en condiciones de equilibrio; por medio del principio de Pascal se formaliza el concepto de presión como variable de estado del fluido, este principio además describe la interacción entre los diferentes puntos del fluido en equilibrio y la influencia de la gravedad sobre el mismo. Un aspecto importante del principio de Pascal es que pone de manifiesto que una acción ejercida sobre un punto del fluido se transmite o fluye hacia todos los puntos de éste, aspecto que muestra de manera contundente el carácter de continuidad de los fluidos. Un ejemplo representativo de la hidrostática es el de la prensa hidráulica, que consta de un recipiente cerrado con dos émbolos, cada uno con superficies diferentes y el recipiente contiene un líquido. Cuando se aplica una fuerza sobre el embolo de menor superficie se obtiene una fuerza mayor en el embolo con mayor superficie. En la figura se muestra que cuando se hace fuerza en la de menor superficie resulta una fuerza mayor en la superficie más grande; esto se debe a que la presión es la misma cuando los dos émbolos se encuentran a la misma altura lo cual se explica por medio de la ecuación 1

$$p = \frac{|\vec{F}_1|}{s_1} = \frac{|\vec{F}_2|}{s_2} \quad (1)$$

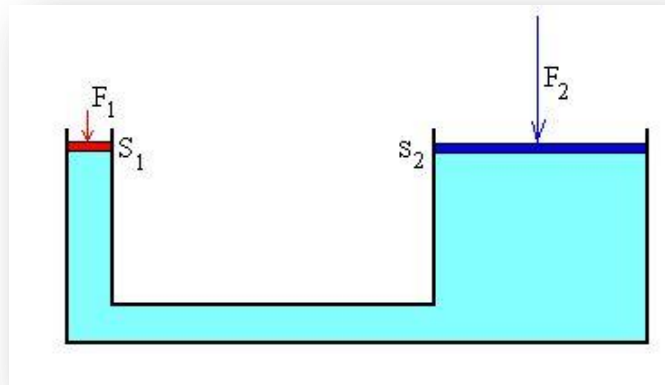


Figura 1: Prensa hidráulica, en donde la fuerza que se hace el área de menor superficie hace que la fuerza resultante sea una fuerza mayor en el área más grande.

Además es importante llamar la atención que la presión define el estado de estrés o compresión del fluido y las condiciones de equilibrio e interacción entre las distintas partes del mismo, así la presión se constituye como una variable importante para definir el estado del fluido como sistema.

La Hidrodinámica

En contraste, el objetivo fundamental de la hidrodinámica es el análisis del cambio de estado del fluido, se abordan las causas y los efectos por los cuales se genera el movimiento del fluido, y es en este aspecto de la mecánica de fluidos que se sitúa el desarrollo central este trabajo.

En general en los cursos introductorios de física, la mecánica de fluidos va enfocada principalmente a la hidrostática; y en algunos aspectos de la dinámica de fluidos, los cuales hacen énfasis en la ecuación de continuidad y la ecuación de Bernoulli.

La ecuación de continuidad se presenta como una descripción de la velocidad neta del flujo de masa en un cierto tiempo a través de una superficie cerrada, aclarando que el volumen limitado por ésta es constante y el flujo se da entre las áreas A_1 y A_2 , como se muestra en la figura 2; esta descripción se hace para un flujo estacionario, en el cual la masa de flujo que

entra es igual a la masa de flujo que sale, como se sugirió en la definición a grandes rasgos que se hizo de la concepción que tiene Lagrange.

De aquí, que la ecuación de continuidad en un fluido no compresible permite establecer una relación entre la velocidad del flujo y área, como se muestra en la ecuación 2 y 3.

$$\rho A_1 v_1 \Delta t = \rho A_2 v_2 \Delta t \quad (2)$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (3)$$

En donde A_1 y A_2 son las áreas, v_1 y v_2 las velocidades en cada una de las áreas, en las cuales existe una proporcionalidad.

De tal forma que el producto de la ecuación 3 evidencia que la velocidad aumenta cuando el área es menor en cualquier tubo de flujo para que la masa se conserve. (Figura 2.)

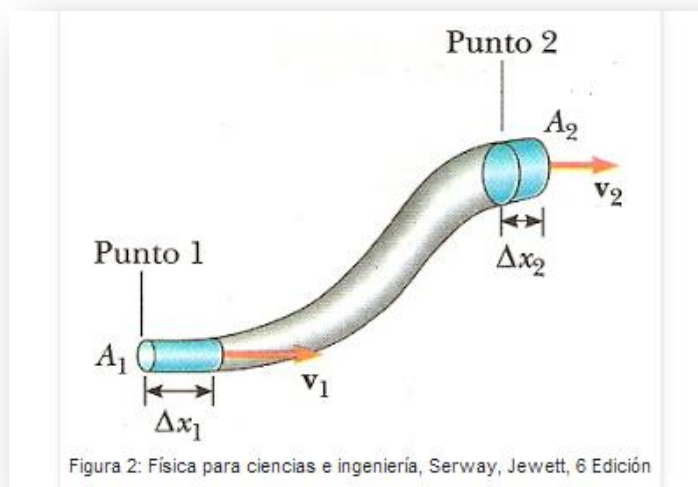


Figura 2: Muestra un tubo de flujo, el cual permite estudiar una sola parte del fluido encerrándolo como un pequeño elemento de volumen por el cual fluye el líquido.

La ecuación de Bernoulli se suele presentar como una relación entre la velocidad del flujo y presión en cada punto del fluido. Esta ecuación por lo general se da en términos de algunas consideraciones con las que se puede hacer una analogía con la ecuación de la conservación de la energía en el fluido, es decir, a través de la ecuación de conservación de la energía se puede llegar a la ecuación de Bernoulli.

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = cte \quad (4)$$

En donde la presión p a la que se somete el líquido, ρ densidad del fluido, g gravedad, h la altura desde el nivel que se tiene como referencia y v la velocidad del flujo del fluido.

Con lo anterior se puede asociar el principio de conservación de la energía para el flujo de un fluido; puesto que cuando cambia la velocidad dentro del flujo también cambia la presión que se ejerce dentro del fluido. Es decir, que permite observar las relaciones que existen entre la continuidad y la conservación de la masa, y la conservación de la energía con la ecuación de Bernoulli.

De tal manera que, al presentar estas ecuaciones del movimiento de un fluido en el aula de clase se pueden encontrar descripciones un tanto superficiales con un gran énfasis en la manipulación de las ecuaciones para la solución de ejercicios y situaciones problema, reduciendo así, todo este proceso a la descripción de los flujos de masa y la caracterización de la velocidad que tiene un fluido.

Un ejemplo de esto es el que se presenta por lo general cuando se describe el comportamiento de un fluido en cualquier situación (como es el caso de una manguera), en donde se explica que el flujo tiene una dirección de un punto que está a mayor presión a uno que está a menor presión; o que el flujo en el fluido depende de la densidad de éste, como también se puede estudiar sobre las diferentes velocidades que existen en cada punto del fluido como se mostró en la figura 2.

Reiterando que por lo general no se le da importancia a esas relaciones que existen entre el principio de continuidad, ecuación de Bernoulli y el principio de conservación de la energía al momento de generar espacios en el aula para el desarrollo de la actividad científica entre el docente y el estudiante.

Como se evidencia, en general en los cursos de mecánica la extensión de temas acerca de los fluidos en movimiento tiene un carácter trivial.

Ahora bien, es necesario hacer evidentes algunos conceptos como el de flujo; cuando se describe en términos de un comportamiento que es posible observar en los líquidos o gases, tal como se ve el agua desplazarse en un sistema.

Otro concepto es el de línea de flujo que se presenta como trayectoria, sin tener en cuenta que estos conceptos se utilizan en la descripción de diferentes fenómenos, como los fenómenos térmicos, eléctricos y mecánicos.

De esta manera, el acercamiento que requiere el concepto de línea de flujo y su importancia en la hidrodinámica se puede evidenciar en diferentes aspectos de la física, se puede comenzar con la descripción formal de flujo que hace (Maxwell, 1873), quien menciona que: *“El flujo de calor en cualquier dirección, en cualquier punto de un cuerpo sólido puede ser definido como la cantidad de calor que cruza una pequeña área dibujada perpendicular a esa dirección, dividida por el área en el tiempo”*² Con esta definición se puede observar que la perspectiva que tiene la hidrodinámica es estudiar las causas y los cambios de estado de un fluido; de aquí que sea necesario hacer una caracterización del estado del mismo, lo cual implica pensar en las condiciones de equilibrio y las interacciones que se expresan por medio del concepto de flujo, para ello se utilizan magnitudes que relacionan variables de estado y el tiempo.

Es preciso entonces tener en cuenta que el concepto de flujo también se puede estudiar desde diferentes perspectivas como la cinemática y la dinámica.

Perspectiva cinemática:

En cuanto al enfoque para dar cuenta del movimiento en los fluidos, se tiene la idea del flujo como el desplazamiento del fluido, usualmente para tal descripción se hace uso del concepto de partícula fluida, entendida ésta como una porción muy pequeña de fluido, cuyo movimiento puede ser visto de manera independiente como el de un cuerpo en el espacio, así es posible hacer una descripción de su desplazamiento, siendo las líneas de flujo las trayectorias que siguen las distintas partículas fluidas. Desde esta descripción es posible también llegar a las ecuaciones que definen la dinámica del fluido, como la ecuación de continuidad y la conservación de la energía, a través de la definición de la densidad de flujo en términos de la densidad, que es asumida como la masa de la partícula fluida, y la velocidad de la misma.

² (Maxwell, 1873)

$$\vec{J} = \rho \vec{v} \quad (5)$$

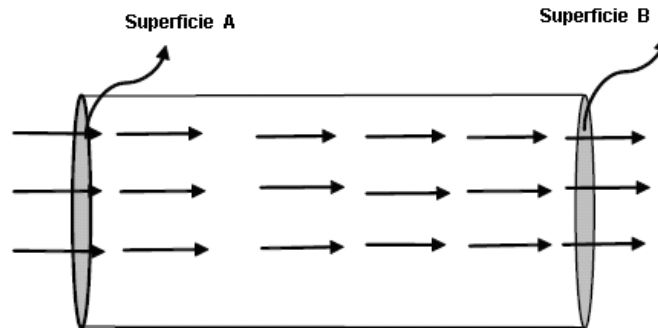


Figura 3: se observa un desequilibrio en un elemento de volumen que se toma en un flujo del fluido.

La representación de la figura 3 muestra cómo se comporta el fluido dentro del elemento de volumen del mismo fluido, de aquí se puede también encontrar una relación en cuanto a las definiciones formales que se tiene de flujo; como por ejemplo la que tiene J. Clerk Maxwell, pues él, dice que si se toma un elemento de volumen de un fluido todo lo que entra y todo lo que sale de él tiene que ver con la acumulación que existe en el dv o diferencial de volumen, ligándolo de forma directa con la ecuación de conservación de la energía, pero esta definición no permite pensar el flujo en términos de trayectoria por medio de la línea de flujo por medio de la partícula fluida.

Como se puede observar hay una relación proporcional entre el flujo y la velocidad $\vec{J} \propto \vec{v}$.

Con esta proporcionalidad – de la ecuación 6- el flujo se empieza a definir como el movimiento del fluido, en donde la velocidad de esa partícula fluida mencionada anteriormente tiene que ver en como fluye el fluido.

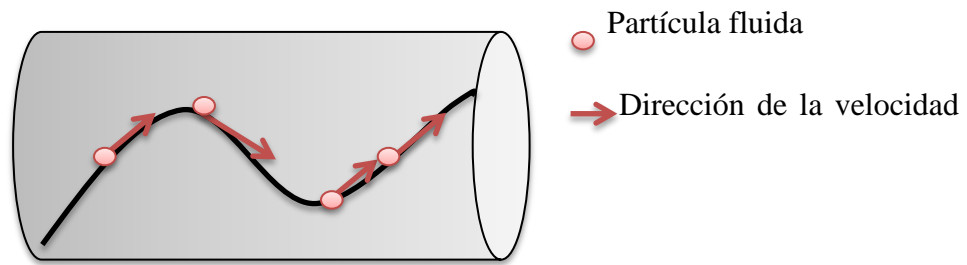


Figura 4: una partícula fluida que evidencia la trayectoria que tiene dentro del fluido.

Se puede observar en la figura 4 el movimiento que adquiere la partícula fluida, esta partícula es una pequeña parte del fluido que se sigue con el fin de estudiar y encontrar la trayectoria que puede tomar esta, por esta razón el vector de flujo se define entonces de la siguiente forma:

$$\vec{J} = \rho \vec{v} \quad (6)$$

Siendo ρ la densidad del líquido y \vec{v} el vector de la velocidad que también da cuenta del flujo, en donde la partícula fluida es un elemento que tiene una masa cuyo valor es aproximado a la densidad del fluido ($m \cong \rho$), entonces al definirse la densidad como $\rho = dm/dv$, y la construcción del vector de flujo se da como $\vec{J} = \rho \vec{v}$, en donde \vec{J} es el momentum de la partícula, ya que el flujo se define por medio del movimiento de la partícula fluida, además \vec{v} hace parte de la descripción que tiene la partícula puesto que es la velocidad de la misma; y aquí se puede definir la línea de flujo como la trayectoria que toma la partícula fluida dentro del flujo del fluido.

Perspectiva dinámica

Desde el punto de vista dinámico cuando se describe el concepto de flujo se logra hacer una caracterización tanto de la línea de flujo como del fluido.

Es así, que se puede comenzar caracterizando el sistema, ya que por medio de las cualidades de dicho sistema se pueden notar cambios entre las variables de estado, estableciendo que si hay un cambio en cualquiera de las variables es porque existe algún

tipo de desequilibrio entre ellas, es decir, que *“es posible hacer una descripción de los cambios de estado correspondientes a una cualidad dada, estableciendo así ecuaciones que dan cuenta de dichas variables con relación al tiempo, como en la ecuación de movimiento”*. (Castillo J. C., 2004).

Se ve que en la dinámica de fluidos se pueden encontrar varias formas para interpretar el concepto de flujo y línea de flujo, en este estudio se hace relevante la línea de flujo que se construye por medio de las variables de estado; en esta construcción se debe tener en cuenta que el estado del fluido es de gran importancia ya que por medio de estas variables es que la línea de flujo se evidencia.

En términos generales se hace una caracterización del sistema, lo cual implica determinar ciertas condiciones de equilibrio, pues a través de estas se pueden encontrar las magnitudes dinámicas que interactúan en el sistema por medio de las variables de estado ya sea la velocidad, la temperatura o la presión. Por esta razón, existen condiciones de interacción que están dadas por el desequilibrio que se da en el gradiente de cada magnitud.

Maxwell propone ciertas magnitudes intensivas las cuales corresponden a las variables de estado, y también los impulsos que son $\nabla v, \nabla p, \nabla T$. En la dinámica y la perspectiva de Maxwell se encuentran diferencias en cuanto a la explicación de la equilibración, lo cual obliga a hablar de flujos y estos se ligan entre sí, por ejemplo:

$$\begin{aligned}\vec{J}_m &\propto -\nabla P \\ \vec{J}_p &\propto -\nabla v \\ \vec{J}_Q &\propto -\nabla T \quad (7)\end{aligned}$$

En la ecuación anterior se muestra la relación proporcional entre: el flujo de masa y el gradiente de presión, el flujo de momentum y el gradiente de velocidad, y el flujo de calor y el gradiente de temperatura respectivamente.

De tal forma que si hay un cambio en alguna variable del sistema habrá una relación de proporcionalidad también con las propiedades de dicho sistema; como se muestra en las ecuaciones 7, dicha proporcionalidad se puede observar además que el gradiente de cada

variable de estado esta antecedida por un signo menos, lo cual representa la oposición a un cambio dentro del sistema, puesto que si la variable de estado aumenta en otro lugar del sistema habrá una disminución.

Para ilustrar esta proporcionalidad se puede hacer uso de la magnitud dinámica de calor (Q), ya que se puede expresar como la capacidad calorífica por la variación de temperatura y esta variación tiene que ver con procesos de equilibración en donde se encuentra el gradiente de temperatura, es decir, que se transporta de un lugar de mayor temperatura a uno de menor temperatura, reiterando que los cambios se dan a través del cambio en otra parte del sistema.

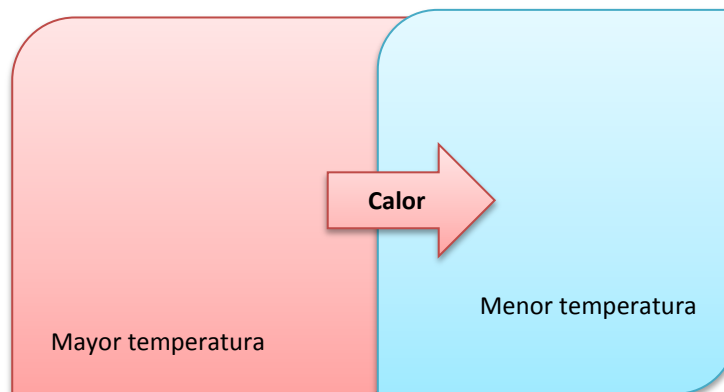


Figura 5: Cambio de la temperatura de un cuerpo.

En la figura 5 se ilustra ese cambio de la temperatura de un cuerpo relacionándola directamente con el cambio de la temperatura del otro cuerpo, entonces se puede suponer una transferencia de una magnitud dinámica, esta transferencia da cuenta a su vez de un cambio cualitativo y cuantitativo de la variable de estado en el sistema, además muestra que hay un flujo de calor; y es allí en donde se empieza a evidenciar el concepto de flujo puesto que demuestra que en los procesos de transferencia de variables de estado -en este caso de la temperatura- se le puede asociar una direccionalidad, que estará dada acá por la dirección que toma el calor.

De tal manera que se puede *“asumir que no solo las partes del sistema están relacionadas sino también conectadas, es decir, concebir el mundo desde una perspectiva continua, lleva a pensar no solo en un acoplamiento entre los cambios y en principios de conservación*

globales, sino en la forma en que los cambios se conectan, en un lenguaje de causas y acciones y en principios de conservación locales”. (Castillo J. C., 2004)

De aquí que se puede ver una compensación del estado del fluido con las magnitudes dinámicas del sistema las cuales se dan a partir del movimiento del fluido en donde se puede definir el flujo por medio de un vector, ya que hay una relación proporcional en el movimiento y el flujo, como se mostró en la perspectiva cinemática.

$$\vec{J} \propto \vec{v} \quad (8)$$

Es así que se abren posibilidades para el estudio de la dinámica de fluidos pues no solo siguiendo la partícula fluida es posible estudiar las líneas de flujo en la hidrodinámica. También es posible estudiarla respecto al flujo, al fluido y a la línea de flujo. En donde se puede llegar a entender la línea de flujo como la acción o camino de la acción dentro de un sistema continuo, en donde no se observa una partícula fluida ya que el flujo del fluido incluye el movimiento de todo el sistema; de tal manera que este estudio se hace en cada punto del fluido puesto que, en cada parte de éste el estado del fluido puede cambiar, y el movimiento se da en términos de $v(x, y, z, t)$, la temperatura $T(x, y, z, t)$ y la presión $P(x, y, z, t)$, en este caso se hace la caracterización del sistema por medio de las cualidades, propiedades o variables de estado que este posee; por esta razón cuando alguna de sus cualidades cambia se transforma la forma de estar del sistema, estableciendo que para que el sistema cambie debe existir un desequilibrio en alguna de sus cualidades, que es una condición general en esta estudio, es así, que para que exista flujo es necesario que exista también algún tipo de desequilibrio entre las cualidades del sistema.

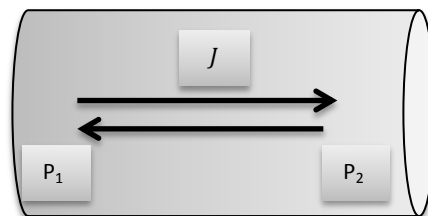


Figura 6: Elemento de volumen en donde existe diferencia de presión y se evidencia la dirección del flujo.

$$P_1 > P_2 \quad (9)$$

Cuando la presión es diferente como se muestra en la figura anterior, en donde: $P_1 > P_2$ el flujo de masa se da en la dirección contraria a la dirección de la presión, pues esto permite que el flujo finalice; así que, el flujo de masa está dado por la ecuación: $J_m = -K\nabla P$ en donde k hace parte de la caracterización del sistema.

Desde esta perspectiva en $\vec{J} = \rho\vec{v}$, la densidad ρ se convierte en una función de estado $\rho(x, y, z, t)$ que puede ser densidad de masa, densidad de corriente, en contraste con la primera perspectiva en la que se comportaba como la masa de la partícula fluida; y la velocidad en este caso ya no será la velocidad de la partícula fluida sino más bien la velocidad del flujo, por esta razón en este caso el flujo se ve como una acción en la que permite un restablecimiento del equilibrio en todo el sistema. Se pueden ver las líneas de flujo con las direcciones que toman los gradientes, (velocidad, presión, o temperatura) lo que quiere decir que la línea de flujo muestra el camino del transporte de una magnitud dinámica (masa, momentum, o calor) y se reafirma que la línea de flujo muestra el camino de la acción.

Como se mencionó anteriormente, a un elemento constante de volumen del fluido, se le pueden asociar varias magnitudes y cambios mientras exista un desequilibrio, por ejemplo:

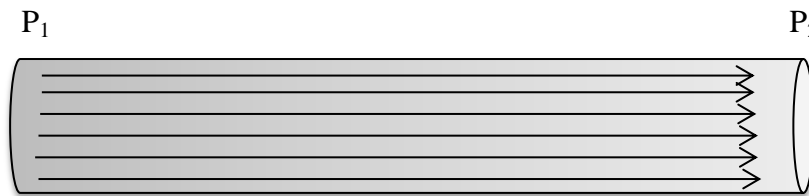


Figura 7: Tubo de flujo con diferencia de presión.

- $\vec{J}_Q = -K\nabla T$: El flujo de calor
- $\vec{J}_q = -K\nabla v$: El flujo de carga
- $\vec{J}_P = -K\nabla \vartheta$: Con K como la viscosidad del fluido

Hasta este punto, con el estudio desde la perspectiva dinámica de fluidos se ha podido hacer notar que es importante la caracterización del sistema, lo cual quiere decir que se puede caracterizar el estado del fluido para luego estudiar los subconceptos como lo son: el flujo, el fluido y la línea de flujo. Para la caracterización del estado se deben determinar condiciones de equilibrio ya que así se encuentran las variables del estado como lo son la velocidad, la temperatura y la presión.

Maxwell entonces contribuye con esos aspectos que llama intensidades e impulsos además de hacer una relación entre los gradientes y cómo actúan estos en cada punto del sistema. Cuando él menciona lo que una cantidad vectorial constituye de una u otra forma una dirección y una magnitud, dice que el desplazamiento de dicha cantidad vectorial se representa por una línea desde el punto inicial hasta el punto final; él propone ejemplos como: la resultante de la fuerza en un punto, o la velocidad de un fluido en un punto, y la velocidad de rotación de un elemento de fluido. Esto se da cuando la cantidad física depende de la posición en un punto y a su vez esa cantidad será tratada como una función de ese vector que se pudo dibujar desde el origen de dicho movimiento. (Maxwell, 1873).

También se encuentra la equilibración de los flujos ya sean de presión, temperatura, velocidad y momentum. De esta forma se observa el flujo como una acción y también como transporte.

Así que el flujo como acción se da cuando en un fluido incompresible que es el que su densidad y el volumen permanecen aproximadamente constantes, de tal forma que la ecuación de la conservación de la masa quedaría:

$$\oiint (\vec{J} \cdot d\vec{S}) = 0$$

$$\nabla \vec{v} = 0 \quad (10)$$

Lo anterior quiere decir que existe una igualdad de masa de flujo, es decir, que esta entra y sale en un área determinada o de forma local.

Entonces la ecuación de Bernoulli tendría un criterio para un flujo incompresible, se muestra en la ecuación 10.

$$\frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz = Cte$$

$$P = P_0 - \frac{\rho v^2}{2} \quad (11)$$

En el fluido incompresible:

$$\nabla P = \frac{Jv^2}{2}$$

En donde:

$$J = \frac{-2}{v} \nabla P$$

Es el flujo estacionario, pero al derivar este flujo se obtiene que:

$$J = \frac{dx}{v} \nabla P$$

$$J = \frac{dx}{\frac{dx}{dt}} \nabla P$$

$$J = \frac{v}{Av} \nabla P$$

$$J = \frac{m}{\rho A \frac{dx}{dt}}$$

(11)

Es la velocidad de un flujo constante

$$J = \frac{C}{v} \nabla P$$

Entonces lo que caracteriza con la sustancia, o la velocidad de flujo que caracteriza el sistema, así que cuando la velocidad de flujo es diferente es porque el flujo no es estacionario por eso se utiliza el teorema de Bernoulli.

Entonces, en un flujo estacionario: $\frac{dm}{dt} = cte$. Es decir que es compresible: $\rho \frac{dv}{dt}$ entonces quedaría como $\rho A \frac{dx}{dt}$. Así que, $I = \rho Av$ en donde $v = \frac{I}{\rho A}$ cuando se tiene a I constante, y se puede establecer una igualdad para el flujo estacionario con relación al gradiente de presiones.

$$J = -C\nabla P$$

$$J = \frac{A\rho}{I} \nabla P$$

Con $A\rho \propto K$, que tiene que ver con la densidad del fluido, además muestra que esa densidad depende del gradiente de presiones en el área transversal que se escoja. Ahora como la condición de flujo en cuanto a los gradientes de presiones ∇P



Figura 8: En un elemento de volumen con diferencia de presión, pero velocidad constante.

Se ve entonces la proporcionalidad en $\nabla P \propto J_m$ en donde $J_m = \rho v$, encontrando otra vez la relación para el flujo, en este caso el flujo de masa

$$J_m = -K\nabla P \quad (12)$$

Y para mostrar esa relación en el flujo de masa está:

$$J_m = \frac{1}{A} \frac{m}{t}$$

Con la relación anterior se puede describir el flujo de momentum como una acción como se ve en la ecuación 13, en donde esa acción se representa como la fuerza que se ejerce en un punto del sistema:

$$Jp = \frac{1}{A} \frac{d\vec{P}}{dt} \quad (13)$$

Y en el segundo caso se puede ver como el transporte de una magnitud dinámica, en donde el gradiente de presión está ligado a un flujo de masa; en el que se recuerda que es un transporte de masa lo que se está observando, o también un gradiente de velocidades que está ligado a un flujo de momentum que es un transporte de momentum.

En este punto ya que se habló del fluido, del flujo es preciso hablar de la línea de flujo. La línea de flujo muestra el camino de transporte de la magnitud dinámica en primer lugar, pero también se puede mostrar como el camino que sigue la acción.

Por esta razón la relación es proporcional,

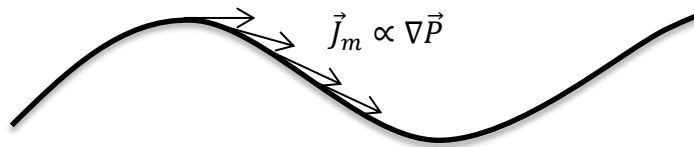


Figura 9: Línea de flujo con relación a las proporcionalidades.

En la figura 9 se muestra una proporcionalidad entre las magnitudes y variables de estado. Algo que cabe notar es que el flujo desde estas dos perspectivas abre una serie de posibilidades de estudio, en la primera se presenta la línea de flujo como una acción, como en el caso del flujo de momentum, como se mencionó anteriormente las líneas de flujo se pueden estudiar desde varios ámbitos como los mecánicos, térmicos y eléctricos.

Ahora bien, en el caso de lo eléctrico también cuando existen cambios de estado y a su vez transferencia de magnitudes dinámicas en los sistemas continuos, el estado y el cambio de estado deben ser estudiados con relación al comportamiento de sus vecindades. Por ejemplo el campo de las velocidades en un sistema puede estar definido por medio de la función velocidad $v(x, y, z, t) = u(y, z, t)\hat{i} + v(x, z, t)\hat{j} + w(x, y, t)\hat{k}$ como se mencionó anteriormente,

pero esta vez en un aspecto eléctrico de manera que la línea que se dibujaría a partir de este campo de velocidades estará dada a partir de cómo se comporta el fluido en cada punto, como se muestra en la figura.

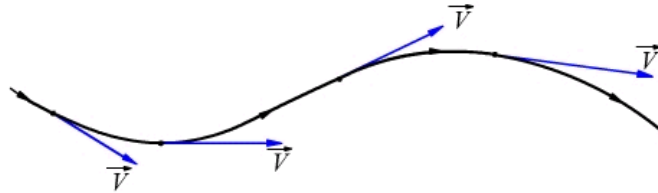


Figura 10: Línea de flujo respecto a las velocidades en cada punto con relación a la partícula fluida.

O como sucede con “la densidad de corriente por conducción es una magnitud vectorial que se define con relación a un área, es decir es un vector de flujo, el cual es proporcional a un vector que se define con relación a una línea, es decir una intensidad.

$$dI = \vec{j} \cdot d\vec{a} = \sigma \vec{\nabla}V(\vec{r}, t) \cdot d\vec{a}$$

Donde $-\vec{\nabla}V(\vec{r}, t) = \vec{E}(\vec{r}, t)$ da la intensidad de campo eléctrico en cada punto con relación a las líneas de campo”. (Castillo J. C., 2004)

La figura anterior permite ver el fluido en movimiento en cada instante mientras dicho movimiento es descrito por las líneas de corriente, ya que estas muestran las direcciones que toma la velocidad del mismo en cada instante.

Como en esta perspectiva se plantea pensar que en un fluido continuo la línea de flujo es el camino por el cual se transporta una acción, y para esta explicación se puede citar en primer lugar un ejemplo que propone (Herrmann, 1984) en donde hace una analogía en cuanto a lo mecánico y lo eléctrico tanto para definir la línea de flujo y el concepto de flujo.

En la figura 11 se presenta:

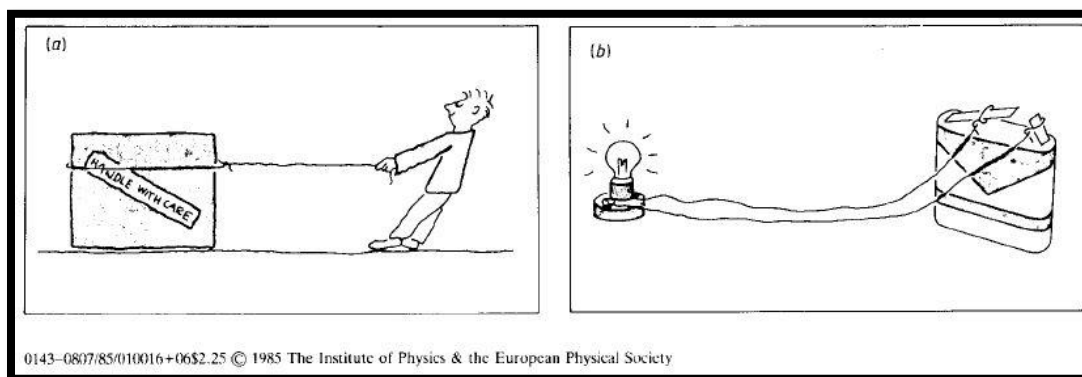


Figura 11: Analogía de la mecánica y la electricidad con relación al flujo.

En la parte *a* se muestra una visión tradicional de la fuerza que el hombre ejerce sobre el bloque de izquierda a derecha, pero en contraste con la forma que propone pensar Herrmann lo describe en el sentido en el que existe un flujo de momentum del hombre al bloque, del bloque al suelo y del suelo al hombre, lo cual se representa en un circuito cerrado como lo hace evidente en el caso *b* que se propone en la parte derecha de la figura; logrando hacer una analogía con lo eléctrico, y es así como se puede tener una visión más clara de flujo de momentum y al hacer una caracterización del flujo de momentum, además se describe la línea de flujo como la línea de acción cuando lo muestra como un circuito cerrado, cosa que no se propone muy frecuentemente en las clases de mecánica.

Todo esto a su vez se relaciona con ejemplos que se dan en los fenómenos de transporte, al momento de hacer un estudio de las ecuaciones de difusión. Si bien es claro, que la construcción de la magnitud dinámica está ligada al proceso de equilibración, entonces existe una coherencia al hablar de flujo y acción, además se puede hacer una distinción de flujo como un fenómeno de transporte y como una acción.

Y es en el caso de los fenómenos de transporte que el concepto de flujo se puede construir a partir de magnitudes dinámicas, sin embargo dichas magnitudes dinámicas no se exigen de un proceso de equilibración y de un proceso de acción. Por esta razón se establecen unas relaciones entre la magnitud dinámica con la variación del sistema. Por ejemplo Herrmann, en sus analogías entre la mecánica y la electricidad, cinemática y fenómenos térmicos, hace

evidentes procesos en los cuales la existencia de una variación del estado del sistema se relaciona con el desequilibrio de dicho sistema.

Ahora bien, en esta parte de la dinámica puede hacer referencia sobre la descripción de los cambios de estado en el sistema y las causas que lo provoca. De tal manera que desde un enfoque dinámico se puede dar cuenta de la causa de los cambios de estado o de movimiento de un cuerpo, puesto que *“un cuerpo solo puede cambiar su movimiento a expensas del cambio de movimiento de otro u otros cuerpo”* (Castillo J. C., 2004), de tal forma que al experimentar dicho cambio, se puede evidenciar que intervienen principios de conservación, y basándose en esto conceptos derivados del flujo tales como: flujo de momentum, flujo de calor y flujo de energía intervienen en dicha caracterización del sistema.

Ahora bien, cuando se caracteriza el estado del fluido por medio de las variables de estado:

- Ya no se tiene una visión en la cual un punto se mueve.
- Se puede hacer un estudio de cada punto del fluido, en donde se puede caracterizar (en un punto) una función en el espacio como $P(\vec{r}, t)$ y como se está hablando desde la perspectiva de lo continuo no quiere decir que esa caracterización de un punto en el espacio sea en si a un punto, sino más bien se habla sobre la vecindad y lo que ocurre alrededor del punto por medio de funciones continuas o derivables en el espacio; lo cual implica mirar las condiciones de desequilibrio como lo son los gradientes de presiones ya que a su vez se ligan a un flujo de masa.

Teniendo en cuenta que el un flujo de masa se da como un fenómeno para que los gradientes de presiones (∇P) se equilibren, es decir:

$$\vec{\nabla}P = \frac{\partial P}{\partial x}i + \frac{\partial P}{\partial y}j + \frac{\partial P}{\partial z}k \quad (14)$$

En donde $(\vec{\nabla}P)dr = dP$ y dP es el desequilibrio espacial, además la ecuación anterior muestra como el desequilibrio que se representan por los gradientes de presión, temperatura o velocidad se puede dibujar la línea de flujo la cual permite evidenciar el camino por donde se transporta la acción de dicho desequilibrio.

Ahora bien, el flujo de masa o intensidad de flujo (\vec{J}) implica un movimiento del fluido, con la condición que el flujo de masa a su vez se ligue directamente con la condición de desequilibrio, de esta forma se puede empezar a evidenciar como la intensidad del flujo es proporcional al gradiente de presiones ($\vec{J} \propto -\vec{\nabla}P$), y esta proporcionalidad es la que caracteriza la acción para la equilibración. Ya que esta proporcionalidad también indica una relación causa \vec{J} efecto $\vec{\nabla}P$

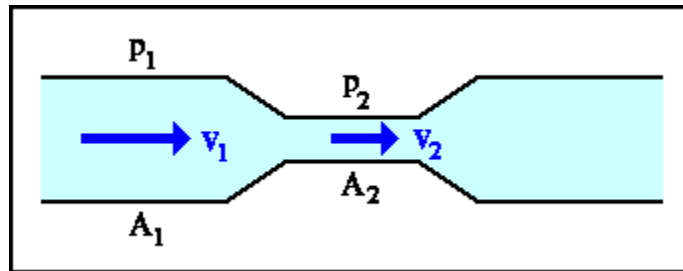


Figura 12: Tubo con diferencias de presión, área y velocidad, en el que también se puede representar varias líneas de flujo.

Como se puede observar en la figura 12 cuando existe un desequilibrio de presión entre P_1 y P_2 una vez se equilibren las presiones desaparece el flujo. Entre tanto, si se preguntara ¿hacia dónde se da la acción que equilibra todos los puntos? Se respondería entonces que ésta se da en la dirección de la máxima acción, es decir, que si el desequilibrio va hacia una dirección entonces el flujo debe ir en la dirección contraria para que se equilibren y así se detiene el flujo; esto es un aporte importante ya que se logran tener dos perspectivas del concepto flujo:

- El flujo como trayectoria
- El flujo como el camino que se requiere para equilibrar el sistema.

Lo anterior se relaciona con el concepto de flujo, ahora respecto al concepto de línea de flujo

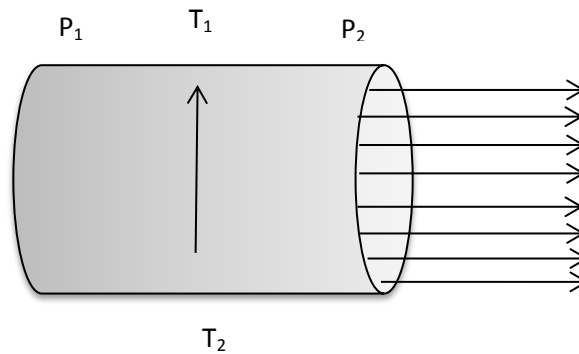


Figura 13: Línea de flujo de presión y línea de flujo de temperatura.

- Flujo de masa

$$P_1 \rightarrow P_2 = \vec{J} \propto -\vec{\nabla}P \quad (15)$$

- Flujo térmico

$T_1 \rightarrow T_2 = \vec{J}_T \propto -\vec{\nabla}T$ (16), a partir del flujo térmico se puede construir una línea de flujo de calor aunque el calor no es sustancial.

Estas dos ecuaciones (15 y 16) desde la dinámica permite ver las interacciones en términos de flujos aunque se tenga una idea inconsciente que las cosas son sustanciales. Así que la línea de flujo no solo muestra una dirección sino también describe por donde se dan las acciones y como se dan éstas como lo son la línea de acción y la línea de desequilibrio.

Esta concepción de la perspectiva dinámica permite hacer relaciones entre los cambios de estado con la visión que se puede tener de un estudio alrededor de las vecindades de un punto dado del sistema y los cambios que se realizan en él, además permite hablar de la mecánica de lo continuo en donde intervienen conceptos específicos e importantes de la mecánica de los fluidos como flujo de corriente, líneas de corriente, ecuación de continuidad, y de conservación.

CAPITULO 3

Reflexión en torno pedagógico de la perspectiva y del trabajo y conclusiones.

Si bien el propósito del trabajo es hacer un análisis de corte conceptual, también es dejar herramientas que permitan desarrollar las clases de mecánica de fluidos en niveles introductorios en la universidad, guiándolas por medio de la recontextualización de saberes científicos ya que se hace una relación entre la historia de las ciencias, el contexto en el que se desarrolla y como se le da explicación desde ese ámbito, lo que se acompaña con el análisis conceptual que se desarrolla.

Es importante mencionar aspectos de las líneas de flujo y del concepto de flujo, ya que estos son de gran apoyo en la enseñanza-aprendizaje de la mecánica de fluidos, pues, como se mencionó anteriormente estos conceptos que son propios de esta rama de la física, se estudian por lo general en otras áreas de la física, como es el caso de los fenómenos térmicos, eléctricos y mecánicos. El concepto de flujo se puede caracterizar cuando se tienen en cuenta aspectos relacionados a los cambios de estado, puesto que, los sistemas se pueden tomar como continuos aunque se estudien en cada punto del mismo, es así que la idea que se tiene de flujo como continuidad se hace evidente en este punto, con el desarrollo que se le puede hacer a un sistema continuo aun cuando se tome como lo discreto, como ocurre en el caso de la partícula fluida también se pueda mencionar en el flujo, así como en el flujo de agua en una manguera.

Por otra parte, el flujo que se deduce desde una noción intuitiva se desarrolla a lo largo del trabajo por medio de la formalización que se le da, cuando se realiza la caracterización de la línea de flujo desde el aspecto cinemático y dinámico.

Ahora bien, cuando se tienen los cambios que se dan en un fluido es importante insistir en que los cambios de estado en cada punto del sistema se relacionan directamente con los cambios en sus vecindades, es decir, que cada vez que se cambia un punto del sistema se realiza otro cambio en el punto siguiente; sabiendo que las líneas de flujo muestran los caminos por los cuales ocurre la acción o el transporte de dicha acción y son esos caminos

por los que hay transferencia de magnitudes dinámicas, así que al hablar de cambios en las vecindades mientras se transfiere la magnitud dinámica, se puede asumir que dichos cambios se dan en los gradientes, lo cual lleva a que no solo se ligue por medio de la acción o del transporte, como lo que ocurre también con el cambio en cada cualidad del sistema, y en cuanto a la medida de los cambios que se dan en un sistema mediante la velocidad del flujo y el resto de las variables de estado se muestra.

Rescatando la hidrostática puesto que al ser la base de la dinámica se puede ver que la ecuación de continuidad está ligada con las magnitudes dinámicas del sistema, las cuales ayudan a la conservación de las magnitudes dinámicas, y otro aspecto es que los flujos se caracterizan mediante las variables de estado, siendo estas características importantes de la dinámica y cinemática de los fluidos.

Existen relaciones que pueden hacer evidentes toda esta organización de la línea de flujo, por ejemplo en:

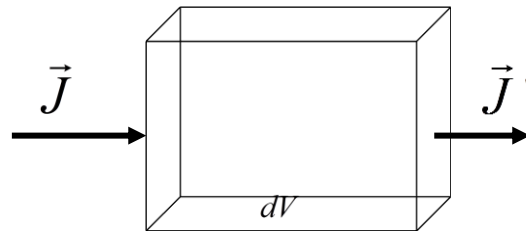


Figura 14: La cantidad de la magnitud que entra por unidad de tiempo a través de la superficie transversal s es mayor a la que sale, por lo cual la densidad de corriente varía.

Como la variación de la densidad de corriente se da en la dirección del flujo, se puede expresar así $dJ = \frac{\partial J}{\partial x} dx$, por lo tanto la acumulación será:

$$-\frac{\partial J}{\partial x} S dx$$

Ahora bien, la acumulación por unidad de tiempo es definida como la variación de calor Q contenida en un elemento de volumen por unidad de tiempo $\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial \rho_Q}{\partial t} S dx$, por lo tanto:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -\frac{\partial J}{\partial x} S dx$$

Entonces:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho_Q}{\partial t} + \frac{\partial J}{\partial x} &= 0 \\ \frac{\partial \rho_Q}{\partial t} + \nabla \cdot J &= 0 \end{aligned}$$

Ésta última es la ecuación de continuidad expresa la conservación local de Q.

Por otro lado, la cantidad de Q que es transferida puede ser expresada en términos del cambio en la variable de estado como:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial(\rho_Q S dx)}{\partial t} = \frac{\partial(c \rho_m \xi S dx)}{\partial t} = \frac{\partial Q}{\partial t} = S \frac{\partial \rho_Q}{\partial t} dx = c \rho_m S \frac{\partial(\xi)}{\partial t} dx$$

Donde c es un coeficiente que caracteriza al sistema en relación con la interacción entre sus partes, es decir es una magnitud propia; por ejemplo el calor específico, la capacidad inductiva específica entre otras, y ρ_m es la densidad de masa del elemento de volumen; para el caso de un medio homogéneo e isotrópico éstos son constantes. Con lo anterior queda:

$$\frac{\partial \rho_Q}{\partial t} = c \rho_m \frac{\partial \xi}{\partial t}$$

Con lo cual la ecuación de continuidad puede escribirse en términos de la variable de estado así:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \xi}{\partial t} &= \frac{1}{c \rho_m} \nabla \cdot J = \frac{-\sigma}{c \rho_m} \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \\ \frac{\partial \xi}{\partial t} &= \frac{-\sigma}{c \rho_m} \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \end{aligned}$$

Ésta última es la ecuación de difusión, que relaciona la variación de la variable de estado con respecto al tiempo con el segundo cambio de la misma respecto a la posición, y al igual que la ecuación de continuidad expresa la conservación local de Q. (Castillo J. C., 2004).

Hay elementos relevantes para este trabajo que sirven como ejemplo para mostrar dichos caminos de acción, como:

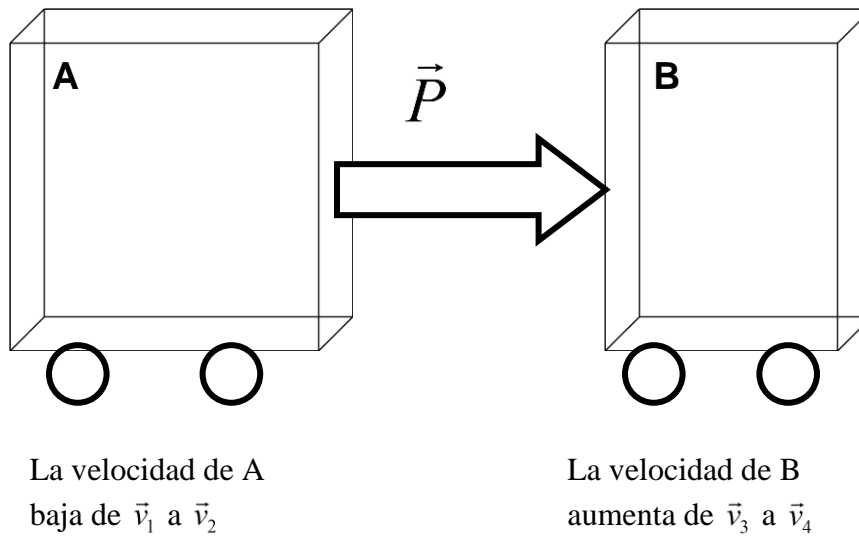


Figura 15: Cuando el cambio de un cuerpo se da por el cambio de movimiento de otro cuerpo.

El cambio en la velocidad del cuerpo A se da a expensas del cambio en la velocidad del cuerpo B, el momentum que fluye del cuerpo es la medida del cambio de estado de movimiento. (Castillo J. C., 2004)

Conclusiones

Este trabajo permite hacer aportes como:

- Las líneas de flujo permiten hacer una descripción, de tal manera que se haga explícito como se dan las acciones en los medios continuos y como se relaciona con las magnitudes que describen el estado del sistema y sus transformaciones.
- Las líneas de flujo se constituyen en representaciones geométricas mucho más cercanas a las imágenes que se tienen del comportamiento del fluido en movimiento y permiten dar más sentido a las ecuaciones que definen los flujos en los medios continuos.
- Un análisis de corte conceptual como el que se realizó permite establecer criterios y posibles rutas para la enseñanza de la mecánica de fluidos y de la física en general.
- A partir de las dos perspectivas que se estudia el concepto de la línea de flujo en la hidrodinámica se hacen aportes desde lo didáctico, dando elementos que ayudan a llevar al aula conceptos tales como el de campo, el de la ley de Gauss, y todos los aspectos relacionados con el electromagnetismo.
- Es la mecánica de fluidos que se da en los cursos introductorios en la universidad, donde se puede empezar a hacer aportes a la comprensión de la teoría de campos desde los conceptos que maneja (líneas de fuerza, flujo, líneas de fuerza) encontrando una mejor comprensión de la mecánica de los medios continuos, lo cual permite adquirir destreza para la comprensión del electromagnetismo.

Bibliografía

- Ayala, M. M. (2005). Análisis histórico - crítico y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pre-impresos Facultad de Ciencia y Tecnología Departamento de Física*, 1 - 17.
- Castillo, J. C. (2004). *El concepto de corriente y la perspectiva dinámica*. (D. d. Física, Ed.) Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Castillo, J. C. (2008). La historia de las ciencias y la formación de maestros: la recontextualización de saberes como herramienta para la enseñanza de las ciencias. *Nodos y Nudos*(25), 73-80.
- Gomez, A. (2005). *ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA DINÁMICA DE FLUIDOS: FENÓMENOS DE VORTICIDAD Y VORTICES*. Bogotá, Colombia: Universidad Pedagógica Nacional.
- Herrmann, F. (1984). Analogy between mechanics and electricity. *European Journal of Physics*, 16 - 21.
- Marcelo Alonso, E. F. (1977). *Física Volmunen 2: Campos y ondas*. Fondo educativo interamericano, S.A.
- María Mercedes Ayala, Á. E. (2008). *Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos*. Bogotá: Kimpres.
- María Mercedes Ayala, F. M. (2004). De la Mecánica Newtoniana a la actividad de organizar fenómenos mecánicos. *Física y Cultura Cuadernillo sobre la historia y enseñanza de las ciencias* , 65- 78.
- Maxwell, J. C. (1873). *A Treatise on Electricity and Magnetism*. London: Oxford.
- Tokaty, G. (1971). *A History and Philosophy of Fluid Mechanics* . London: Dover Publications, INC. .