



Conservación de momentum y energía, una mirada desde los fenómenos de transporte.

Autor: Jesús David Quintero Molina

Asesor: Juan Carlos castillo

Trabajo de grado para optar por el título de licenciado en física

Línea de investigación: La enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencia y Tecnología

Departamento de Física

Licenciatura en física

La enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural

Bogotá D.C, Colombia

2020

Contenido

Introducción.....	4
Capítulo I, La conservación de momentum y energía en cursos introdutorios de física.....	6
El porqué del trabajo de grado	6
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos.....	9
Metodología de la investigación.....	10
Fases Metodológicas.....	11
Antecedentes.....	12
Capítulo II, Conservación de momentum y su conexión con los fenómenos de transporte.	14
Los principios de conservación en la física.....	17
La física de la dinámica.....	17
Dinámica y transferencia.....	18
Flujo o corriente de cantidades físicas.....	19
Analogía entre mecánica y electricidad.....	19
Transferencia y tercera ley de Newton.....	23
Consideraciones de la analogía entre mecánica y electricidad.....	24
Fenómenos de transporte.....	24
Flujo y ecuación de continuidad.....	25
Ecuación de continuidad.....	26
En resumen	28
Transporte de momentum en un fluido viscoso.....	29
Transporte de momentum en ondas.....	38
Fenómenos de transporte y conservación de momentum y energía.....	42

Capítulo III, El análisis conceptual y la re contextualización como herramientas para abordar los fenómenos de transporte.	43
La problemática en cuestión.	43
Análisis Conceptual.	43
Re contextualización de saberes.	46
Conservación de momentum y energía en el aula.	47
Conclusiones.	49
Trabajos citados	51

Introducción.

Este trabajo de grado es un análisis de corte conceptual que busca relacionar la conservación del momentum y la energía con los fenómenos de transporte mediante el concepto de flujo y transferencia de estas cantidades físicas. El trabajo se desarrolló a partir del análisis de situaciones que se explican a través de los fenómenos de transporte, que implican la transferencia de momentum y energía, esto es, hacer una descripción dinámica mediante el flujo de las magnitudes, aspecto que está relacionado con la conservación local del momentum y la energía; se busca mediante este análisis aportar elementos conceptuales y teóricos para la enseñanza de la física dinámica en diferentes niveles, particularmente en la educación media.

El trabajo de grado se compone en tres capítulos.

En el primer capítulo se hace una ubicación del trabajo, que consiste en definir la problemática de investigación, los objetivos y alcances del proyecto de grado, las orientaciones metodológicas, los referentes y antecedentes. Todo esto con el fin de orientar y contextualizar cada uno de los aspectos que contribuyen al análisis conceptual y a la reflexión en torno a la enseñanza de la física, particularmente en la educación media.

En el segundo capítulo, se mostrarán la conservación de momentum y energía vista desde los fenómenos de transporte, y se abordará las ideas de flujo y transferencia. Se hará una reflexión acerca de la física dinámica, y como una descripción de este tipo implica que algunas magnitudes, como la energía y el momentum, se transfieran entre cuerpos o entre partes de un sistema continuo; ello conlleva a formular la pregunta, ¿qué pasa en esos procesos de transferencia y cómo están relacionados con la conservación?

Por otra parte, se ilustran los aspectos anteriormente mencionados mediante el análisis de algunos de los fenómenos de transporte, cuya formalización matemática está dada por la ecuación de continuidad, que pone de presente el concepto de flujo y transferencia, además de ser una expresión para la conservación de magnitudes físicas, tales como el momentum y la energía.

En el tercer capítulo, se presenta una reflexión, basada en el análisis conceptual, acerca de los fenómenos de transporte y la conservación de momentum y energía, sobre la enseñanza de la física, particularmente de la dinámica, desde la perspectiva de la recontextualización de saberes; con esta reflexión se pretende aportar elementos para la consolidación de propuestas para la enseñanza de la física en diferentes niveles, especialmente en la educación media. Se hablará también, sobre cómo al abordar los fenómenos de transporte, se contribuye a generar representaciones del concepto flujo y transferencia de momentum y energía, aspectos que son considerados transversales en la enseñanza y el aprendizaje de la física.

Capítulo I, La conservación de momentum y energía en cursos introductorios de física.

El porqué del trabajo de grado

En el campo de la enseñanza de la física para cursos introductorios, se toman los conceptos de conservación de energía y momentum para dar explicación a fenómenos asociados al estudio del movimiento desde las descripciones dinámicas, si bien son abordados dichos conceptos, solo se toma en cuenta únicamente el estado inicial y el estado final del sistema, de tal manera que se deja de lado la descripción del proceso, aspecto que implica hacer una explicación detallada de la transferencia del momentum y la energía.

Frecuentemente en los libros de texto, al abordar los principios de conservación, se encuentran descripciones acerca de situaciones que, generalmente se relacionan con los choques; el análisis que se hace de los choques no tiene en cuenta las interacciones entre cuerpos, ya que no hace descripción alguna de lo que sucede durante el choque, únicamente se muestra que la energía cinética y el momentum total del sistema tiene el mismo valor antes y después del choque, si este es perfectamente elástico, si no, se conservará el momentum, pero la energía cinética después del choque será menor a la energía cinética antes del choque. Esta disminución de energía generalmente no es justificada, puesto que no se hace la explicación del proceso. En diferentes análisis de los choques, se observa que se centra en la conservación de momentum y energía, exclusivamente en términos de la cantidad, sin hacer claridad sobre la manera en que transfieren la energía y el momentum entre los cuerpos o partes que componen el sistema, es así que la conservación de estas cantidades es abordada desde una perspectiva de conteo de un antes y un después del proceso de la interacción, dejando de lado el análisis de la transferencia y distribución de dichas cantidades durante el proceso; de igual manera cuando se define la onda como una transferencia de energía que no requiere desplazamiento de cuerpos, tampoco se describe la transferencia de energía y mucho

menos la transferencia de momentum, sino que se habla de la ecuación de onda para llegar a las funciones de onda, dejando de lado la energía y el momentum que transfiere estas magnitudes.

“En los textos tradicionales suelen introducir el estudio del fenómeno ondulatorio definiendo que una onda se produce por una perturbación de un medio que transporta energía pero no transporta materia. Y mencionan que las ondas electromagnéticas son un tipo de onda especial que no requiere de medio para transportarse. ¿Puede acaso haber una perturbación en ausencia de medio para perturbar? Luego de estas definiciones proceden a plantear la ecuación diferencial de onda haciendo uso de un pulso transversal, para llegar a la función de onda. Con esta última y sus derivadas respecto al tiempo se hace la descripción cinemática del movimiento ondulatorio; luego como un ejercicio de aplicación de la función de onda y sus derivadas se halla la energía transportada por la onda, sin que se profundice en este aspecto. Con lo anterior queda claro que el fenómeno ondulatorio así abordado queda limitado a la descripción cinemática dejando totalmente de lado el estudio de los efectos dinámicos de las ondas, ya que no se estudia los fenómenos de transporte relacionados con las ondas, tales como el transporte y transferencia de energía, momentum y momentum angular. Llama la atención que se deje de lado el estudio de este aspecto, ya que es el aspecto del fenómeno ondulatorio que se pone en juego en los modelos ondulatorios del electromagnetismo y la mecánica cuántica”. (Juenker, 1975)

De acuerdo esta línea, se quiere cuestionar sobre el cómo de la transferencia de momentum, que está dada por defecto que transfiere una cantidad de movimiento, pero no se aborda la problemática del cómo, al igual que antes, para describir este postulado nos basamos en los cursos introductorios que hemos tenido tanto en el colegio como en la universidad.

Siguiendo con nuestra justificación, se quiere abordar cómo es la transferencia del momentum, ya sea llevado por una partícula u onda. Mirar cómo se da esa interacción entre cuerpos o partes del sistema, para describir la conservación en términos de los fenómenos de transporte, que aportan una comprensión de las interacciones y que, a su vez están relacionados con la ecuación de continuidad que trae el concepto de flujo, para así entrever como estas cantidades se conservan en diferentes situaciones.

El análisis que se presenta en este trabajo pretende aportar elementos para la enseñanza, en cursos introductorios de mecánica en los principios de conservación, desde una perspectiva que implique transferencia y que describa el proceso durante la interacción, esto es, que se aborde la conservación de energía y momentum en términos de los fenómenos de transporte. Con el fin de dar una imagen más completa de las interacciones en los sistemas mecánicos (choques entre cuerpos) y no solo remitirse a los aspectos operacionales, que únicamente se centran en el estado inicial y final del sistema, además de ello, poder mostrar como dichos fenómenos de transporte pueden brindarles a los estudiantes ideas más claras y una mejor comprensión a la hora de hablar de conservación de energía y momentum.

Es decir, y citando a Alonso y Finn, *“mostrar un estudio de los fenómenos de transporte para dar una perspectiva que permite ver la dinámica de los sistemas, en la cual los aspectos relativos a los cambios de estado en términos de distribución de momentum y energía permiten tener una descripción más completa de los procesos físicos.”* (Alonso & Finn, 1967). Analizando los conceptos mencionados hasta ahora, podemos decir que, si bien se tiene un panorama general de la conservación del momentum, el interés de este proyecto es mostrar esa parte poco detallada de la explicación sobre el “cómo” se transfiere esa cantidad de movimiento.

Así que para dar inicio a nuestra investigación, se hace uso del siguiente interrogante:

¿Qué ideas y conceptos de estudio posibilitan abordar la conservación del momentum en términos de los fenómenos de transporte en cursos introductorios de física?

Objetivo general

Realizar un estudio , mediante un análisis de corte conceptual, de la conservación de momentum y energía en términos de los fenómenos de transporte, con el fin de aportar elementos para la enseñanza de la mecánica en cursos introductorios de física.

Objetivos específicos.

- Analizar la problemática que aparece en cursos de física acerca de la conservación de momentum y energía, retomando las ideas de la re contextualización de saberes como herramienta para abordar dicha conservación en los cursos de física.
- Abordar y construir la idea de la conservación de ciertas cantidades como, el momentum y la energía, mediante un estudio visto desde la perspectiva de los fenómenos de transporte.
- Establecer algunas orientaciones conceptuales que aporten elementos para la enseñanza de la conservación de momentum y energía y su relación con los de los fenómenos de transporte.

Metodología de la investigación.

Para este trabajo de grado utilizamos una metodología de análisis conceptual, donde abordamos los textos y libros que hablan sobre los fenómenos de transporte y conservación de momentum y energía, para tener un conocimiento de dichos conceptos e ideas que puedan mostrar un estudio crítico y argumentado, de tal forma que, con este análisis conceptual se pueda señalar la conexión entre la conservación de momentum y energía y las ideas de transferencia y flujo desde la perspectiva de los fenómenos de transporte, así como también mostrar la conexión con la recontextualización de saberes, como herramienta, para hablar de los fenómenos de transporte y de las ideas de flujo en cursos de física.

La metodología propuesta consiste en un análisis de corte conceptual, visto como un proceso que permite hacer un estudio crítico del material existente sobre los conocimientos que se quieren abordar, para develar un saber estructurado de los escritos que tienen relevancia sobre los fenómenos de transporte, así como la conservación de momentum y energía. (Castillo Ayala, 2004)

La importancia de hacer una análisis de corte conceptual alrededor de la transferencia de momentum, es que en cursos introductorios de física se aborda la conservación de la energía y el momentum en términos de mirar el cambio del sistema, se busca medir el estado inicial y final pero se deja de lado toda la parte de la transferencia, así como lo plantea Juenker citado anteriormente, para el caso de las ondas, en donde señala que se aborda el concepto de onda como un pulso que transmite energía pero no se habla de la transferencia de momentum de dichas ondas.

También se pone de manifiesto que hacer un análisis de “corte conceptual” (esto lo veremos con más detalle en el cuerpo del texto) acerca de la transferencia de energía y momentum, es importante para compilar el conocimiento que hay sobre el asunto y no solo ver estos tópicos de la física de forma separada, ya que podemos abordar estos temas en un gran documento para no perder detalle a la hora de retomar los múltiples conceptos que podemos encontrar

acerca de la conservación en un lado, y fenómenos de transporte y conceptos de flujo y transferencia en otro.

Así bien, el análisis de corte conceptual acerca de la transferencia de energía y momentum es importante y necesario en la medida que, como maestros de la licenciatura en física, es nuestro deber llevar dicho conocimiento al aula, teniendo en cuenta la importancia de enseñar ciencia en la escuela y que a su vez esta enseñanza de la ciencia ayuda a contribuir con el desarrollo del país, tanto científica como culturalmente.

Tomando el análisis conceptual como un estudio riguroso y completo que se verá reflejado en el trabajo de grado, mostrando desde su parte introductoria, su eje central, hasta sus conclusiones, y por su puesto la conexión con la recontextualización de saberes, que enlaza la parte de la corriente pedagógica, que se presentará una vez lleguemos al capítulo dedicado a esta problemática.

Fases Metodológicas.

Se piensan las fases metodológicas acorde a los objetivos específicos, y son trabajadas en tres momentos.

Primero, se aborda todo el estudio alrededor de las formas de ver la conservación de momentum y energía y las problemáticas que surgen al mirar la conservación desde unas ideas de medir momentum inicial y final; y decir que la cantidad se conserva, pero dejando de lado los conceptos de transferencia, de transporte, de flujo y corriente. Donde aparecen una serie de autores que vinculan los fenómenos de transferencia, y la conservación de momentum y energía que iremos develando para mostrar nuestro análisis.

Como segundo paso, retomar enfoques de los autores de textos introductorios de física Friedrich Herrmann, D.W. y Juenker Bird, que muestran la conservación desde una perspectiva dinámica, por ejemplo, exponen la física desde aspectos de flujo a diferencia de

los libros convencionales, y hablan sobre unos fenómenos de transporte, donde abordaremos la viscosidad, transporte de momentum en ondas, para reunir dicho conocimiento, compilarlo y seguir desarrollando nuestra investigación.

Y finalmente mirar qué hace falta cuando se trabaja la física de la conservación de momentum y energía en los cursos introductorios y en las aulas de clase, y exponer esta física desde las ideas de flujo y transferencia como ideas transversales durante todos los cursos de física y no solo en los cursos de dinámica de fluidos, trayendo el análisis conceptual y la re contextualización de saberes como ideas, herramientas y conceptos que nos ayudan a concluir nuestra investigación.

Antecedentes.

Para nuestro trabajo de grado hemos hecho una búsqueda en varios aspectos para recopilar todas las ideas relacionadas con el interés de la investigación. Entonces se escogieron los siguientes proyectos entre una cantidad extensas, pues estos proyectos proponen discusiones sobre conceptos, que son pertinentes para construir las reflexiones acerca del tema propuesto de investigación. Cabe resaltar que los antecedentes en su totalidad, son locales y nacionales siendo estos trabajos de investigación realizados en la Universidad Pedagógica Nacional.

“La convertibilidad de los fenómenos: Un camino para acercar a los estudiantes al concepto de energía” (Sotelo, 2012). La investigación realizada por este trabajo de grado, pone en discusión la convertibilidad de la energía como una categoría epistemológica, donde se muestra la transformación entre el calor y el movimiento desde categorías epistémicas e históricas y habla también de la convertibilidad de los fenómenos naturales.

“Reflexiones pedagógicas para la enseñanza de la energía a partir del análisis de una experiencia de práctica pedagógica, desde una perspectiva histórico-crítica” (Sotelo, 2012). En este trabajo se muestran las reflexiones que surgen al poner en diálogo los estudios históricos-críticos del concepto de energía con una experiencia de práctica pedagógica en un espacio de educación alternativa. Con la implementación de cuatro

actividades exploratorias en el nivel 12 de la Escuela Pedagógica Experimental (EPE), se llevó a cabo un análisis de las explicaciones iniciales de los estudiantes al referirse a la energía, que se asocian en los estudios histórico-críticos sobre la misma; los casos de conservación y convertibilidad de la energía encontrados en los debates históricos también aparecen como una forma en que los estudiantes buscan dar cuenta de la energía. Finalmente, se tiene como referente una imagen de ciencia distinta a la tradicional, pues entendiendo esta como una actividad donde es posible que espacios de práctica pedagógica y educación alternativa aporten significativamente a la formación del docente en ciencias.

“La controversia vis viva - cantidad de movimiento: hacia una comprensión racional del concepto de energía y su principio de conservación” (Otalora, 1989). La primera parte del trabajo se trata de un desarrollo histórico sobre el concepto de energía. En la segunda parte se establecen conclusiones respecto a la comprensión del concepto, para el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias. En la última parte se presenta el desarrollo de la idea de Descartes con el propósito de generar la controversia respecto al concepto de energía y su principio de conservación.

Capítulo II, Conservación de momentum y su conexión con los fenómenos de transporte.

Este capítulo tiene como fin exponer la conservación de momentum y energía desde una perspectiva de los fenómenos de transporte, es decir, se caracterizarán dichos fenómenos que permitirán entender cómo es la conservación justo en el momento de la interacción.

Esto significa analizar qué es lo que ocurre en dicha transferencia de cantidades para poder hablar de conservación remitiéndonos a un “flujo”, que es una de estas ideas de las que hablábamos al principio, que van a permitir observar más detalladamente la transferencia de las cantidades, ya que si bien, las cantidades se mueven entre cuerpos de un lugar a otro, podríamos pensar también en un flujo de dichas cantidades.

Se abordará una analogía entre mecánica y electricidad para mirar un poco más detallado como es que tanto la mecánica como la electricidad se relacionan mediante las ideas de flujo y transferencia. Además de eso se abordará una ecuación de continuidad que da cuenta de unos conceptos de flujo y transferencia y que permite relacionar estas representaciones con la conservación de la masa y de las magnitudes físicas.

Este capítulo es también una mirada a esos fenómenos de transporte, y en particular al transporte de momentum, donde analizaremos dichos fenómenos como lo son la viscosidad y el transporte de momentum en ondas, para así tener un estudio más completo y descriptivo sobre la conservación de momentum.

También es una propuesta a que se miren más detalladamente estos fenómenos, ya que describen la física de la transferencia, y nos arroja un estudio en ideas y conceptos sencillos e ilustrativos a la hora de ver estos temas de tanta importancia en los cursos de física.

Para nuestro trabajo de grado hemos hecho una búsqueda en varios aspectos para recopilar todas las partes de interés.

Para el planteamiento de toda la problemática que se va a abordar en la investigación o trabajo de grado, comenzamos nuestra búsqueda hablando de la conservación de momentum y energía en términos de unos fenómenos de transporte que pueden ser explicados mediante unas ideas de flujo; al hablar de flujo nos referimos a la dinamicidad que ocurre en el sistema que estamos analizando, como bien lo expone las ideas del profesor de la licenciatura en física, Juan Carlos Castillo en su tesis de maestría, donde nos acerca un poco a mirar el concepto de la dinámica cuando hablamos de todas estas ideas de flujo que queremos configurar para mostrar una conservación desde una perspectiva de los fenómenos de transporte.

Este trabajo también pretende enlazar la investigación acerca de los fenómenos de transporte con toda la problemática de la enseñanza sobre la conservación en cursos introductorios, y es que, si bien ya se ha mencionado bastante, este concepto se enseña sin tener muchas veces en cuenta los aportes que brinda la perspectiva de los fenómenos de transporte.

Al momento de hablar de la conservación de momentum en términos de fenómenos de transporte encontramos al autor Friedrich Herrmann quien tiene un grupo universitario de investigación en Karlsruhe, y quien va a la escuela a compartir muchos temas de física de una manera diferente a la tradicional.

Así que Herrmann es un autor que en su artículo, “Analogy between mechanics and electricity” (Herrmann, 1984) hace una analogía entre la mecánica y la electricidad donde muestra como estas dos ramas de la física se ven vinculadas por la idea de flujo o de corriente de flujo, y a partir de estas ideas de flujo, puede conectar muchas partes de la física, es decir que Herrmann realmente le dio un enfoque diferente mediante ideas distintas a las convencionales.

El trabajo de investigación propone una ruta problemática sobre el transporte de momentum propuesta de igual forma por el autor, donde pone de manifiesto que el momentum transmitido por ondas en cuerdas es poco estudiado, esto lo hace a partir de un estudio de transporte de energía y momentum, en cuerdas, proponiendo un método para calcular dicho momentum transportado.

Este texto es de gran apoyo para la investigación ya que trae una problemática similar, aunque el desarrollo del problema es diferente, tiene aspectos y conceptos importantes que se pueden retomar para así encontrar los enfoques del autor y abordar toda esta investigación que estamos configurando.

Luego de mostrar toda esa parte introductoria y observar los diferentes planteamientos de los distintos autores acerca de la conservación de momentum y energía desde puntos de vista que tienen que ver con los fenómenos de transporte, incluimos en nuestra investigación los efectos en sí, para mostrar detalladamente como estas situaciones de transporte presentan unos eventos que permiten abordar la conservación con unas ideas de flujo.

Así que, para mostrar los fenómenos de transporte, recurrimos a un texto llamado Transport phenomena, (Bird, Stewart, & Lightfoot, 1958), para poder mostrar un fenómeno de transporte y en particular el fenómeno de la viscosidad, mediante la ley de Newton.

Siendo esta investigación de vital importancia en nuestro trabajo ya que muestra en detalle lo que sucede cuando hablamos de un flujo contenido entre dos placas, y que al desplazarse dicho fluido podemos apreciar el fenómeno de la viscosidad, junto también con un vector de flujo de momentum que mostraremos una vez llegemos al capítulo detallado acerca de este fenómeno.

Continuando con los fenómenos de transporte presentaremos el planteamiento que hace Juenker para mostrar el fenómeno de transporte de momentum que se propaga en ondas, mencionado anteriormente, y de igual importancia al trabajo anterior, para nuestra investigación.

De esta manera, entraremos en detalle a analizar la conservación de momentum en términos de transferencia, para configurar nuestro capítulo central, en el cual nos dedicaremos a estudiar los fenómenos de transporte y su conexión con la conservación de momentum, mediante las ideas de flujo.

Los principios de conservación en la física.

En la física, al momento de describir los fenómenos, se hace uso de ciertos conceptos para explicarlos que nos ayudan a entender la naturaleza de lo que nos rodea, entre éstos fenómenos encontramos aquellos que se vinculan a un principio de conservación.

La conservación se atribuye a algunas cantidades como la energía y el momentum, el transporte de estas magnitudes implica caracterizar los cambios de estado y la acción de una manera local, esto significa, que la energía y el momentum de un cuerpo (o parte de un sistema) solo puede variar al interactuar con otro.

“Es decir, si bien hay unas cantidades que se conservan, para que exista dicha conservación, las cantidades se mueven de un cuerpo a otro, transportándose así mismo de un lugar a otro, y la conservación nos pone de antemano, que una vez transportadas dichas cantidades, encontraremos una conservación que propone que la cantidad inicial que se encuentra en un cuerpo, luego de un cambio propiciado por un segundo cuerpo, por ejemplo un choque, será transmitida a este segundo cuerpo, sin pérdidas de cantidad, ya sea que la cantidad se quede en el ambiente, o sea totalmente transferida al segundo cuerpo.” (Castillo Ayala, 2004)

A su vez encontramos que el término de conservación del momento lineal indica que la cantidad de movimiento \vec{P} , antes y después de una interacción, en un sistema aislado, es la misma. Podemos ver que no solo se habla de unas cantidades que permiten describir el sistema, también se habla de la conservación de dichas cantidades, aunque únicamente se propone mirar el estado inicial y final del sistema para saber el cambio que tuvo dicho sistema.

La física de la dinámica.

En la física dinámica encontramos procesos que ocurren en la naturaleza, como el movimiento, el calor, cambios de estado de la materia, etc. Luego, analizamos dichos

procesos mediante ideas que nos conllevan a modelos físicos y matemáticos, así interpretamos que estos procesos han tenido una serie de añadiduras a lo largo del tiempo, una de ellas que nos interesa para el trabajo de investigación es la teoría de la física dinámica, que si bien nos habla sobre el contexto en que los procesos se muestran por sus cambios, también se estudian las magnitudes con que se dan dichos cambios. (Castillo Ayala, 2004)

Estos cambios hacen referencia a los diferentes estados de un sistema, por ejemplo un sistema mecánico, cuando un cuerpo se mueve es debido a una fuerza que se le ejerce por uno u otros cuerpos, también la velocidad que lleva un cuerpo se verá afectada si uno o más cuerpos le adicionan o le quitan velocidad al cuerpo inicial, todas estas variables de fuerza y velocidad, indican transferencia y cambios, indican que las magnitudes cambian, que fluyen, que no se quedan acumuladas en un punto si no que se transfieren para cambiar el estado inicial del sistema, y todos estos conceptos e ideas las encontramos estudiando la física dinámica.

Dinámica y transferencia.

Resulta que tenemos unas variables de estado que nos dicen cómo se encuentra el sistema y en qué posición, también nos describen cómo es el sistema, por ejemplo, cuál es su velocidad, etc. Estas variables sitúan los fenómenos y permiten hacer una descripción de lo que posee o de las características que se le atribuyen al sistema.

Ahora tenemos otras magnitudes que demuestran que son necesarias al momento de hacer efectivo el cambio del estado de un sistema, estas son las variables dinámicas, por ejemplo si tenemos a un cuerpo en movimiento que viaja a una velocidad constante (v), la variable dinámica describe dicha acción que permite que el movimiento se transfiera de un cuerpo a otro, alterando su variable de estado y haciendo que se mueva en una dirección cualquiera.

“Ahora bien estas variables dinámicas describen cómo es la transferencia de la cantidad que se va a transferir, ya sea momentum, energía, carga, entre otras, y estas variables dinámicas son cantidades extensivas del sistema que permiten saber cómo llevan la cantidad transferible

y a donde la van a transferir, de este modo entonces se tienen en un lado variables de estado y aparte unas variables que denotan el cómo se da una transferencia.” (Castillo Ayala, 2004)

Pero al hablar de transferencia podríamos pensar que existe un equilibrio de una cierta cantidad y que al transferir por ejemplo, momentum, este equilibrio se pierde generando un desequilibrio, pero que al mismo tiempo tiende a devolverse a su estado natural de equilibrio, y es aquí entonces que podemos decir que en un sistema en el que se transfiere una cantidad de un cuerpo a otro, vamos a tener una compensación de cantidad, es decir, la cantidad que sale de un cuerpo va a ser igual a la cantidad que entra en el otro cuerpo, siendo esta cantidad (transferible) descrita por alguna variable dinámica, ya sea momentum, energía, y alterando el estado de un sistema, de esta manera el desequilibrio tiende a volver a su estado de equilibrio.

Flujo o corriente de cantidades físicas

Hasta el momento hemos presentado como aparecen unas variables de estado y con estas, unas variables que transfieren cantidades, siendo estas las variables dinámicas; pero al hablar de magnitudes que otorgan cantidades es pertinente también mencionar a su vez, unos conceptos que describen la acción en sí, es allí cuando aparecen los conceptos de flujo, para describir la transferencia de cantidades, en otras palabras, dichas cantidades que cambian de un cuerpo a otro “fluyen”.

Entonces las variables dinámicas muestran un flujo de una cantidad que se transfiere de un cuerpo a otro, por ejemplo, un momentum de un cuerpo a otro, una cantidad de energía de un cuerpo a otro o una carga de un cuerpo a otro.

Dicho flujo lo podemos relacionar entre la mecánica y la electricidad, que si bien son dos teorías que no surgieron al mismo tiempo, son ramas de la física en donde podemos abordar los conceptos de transferencia de y flujo analizando la dinámica de ambas teorías.

Analogía entre mecánica y electricidad.

Así como lo hemos mencionado, podemos hablar sobre la conservación de momentum y energía vistas desde otra perspectiva, aunque válida, no es muy conocida ni utilizada; esta perspectiva de la conservación relaciona a la mecánica y a la electricidad mediante la fuerza, (ya sea mecánica o eléctrica), vista como corrientes o flujo de momentum.

A continuación veremos un ejemplo que nos ilustra de una manera muy agradable lo que sucede en la transferencia de momentum vistas desde esta analogía entre mecánica y electricidad donde las fuerzas ejercidas se pueden ver como una corriente de momentum.

Para el ejemplo 1.

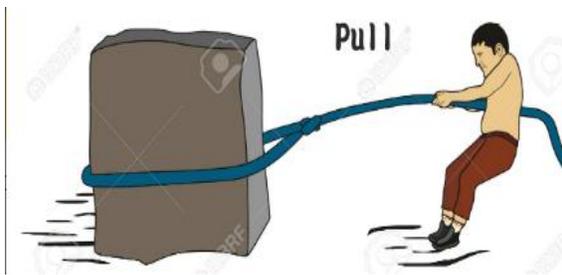


Imagen 1. Ejemplo 1 (123rf, 2020)

Analicemos a un hombre halando una caja, el trabajo realizado sería:

$$\frac{dw}{dt} = P \quad (\text{Eq 1})$$

Donde (P) es la potencia, (w) el trabajo realizado y (t) el tiempo en que se realiza el trabajo.

Para mantener en movimiento a la caja a una velocidad constante (v) tenemos que:

$$P = \frac{f dx}{dt} = P = v \cdot \quad (\text{Eq 2})$$

Donde f es la fuerza ejercida a la caja.

Para el ejemplo 2.



Imagen 2. Ejemplo 2.

Ahora, si analizamos la energía disipada por unidad de tiempo (potencia) en una bombilla, la potencia sería:

$$P = UL \quad (\text{Eq 3})$$

Donde (U) es la energía potencial mantenida por la batería y (I) es la corriente de carga fluyendo a través del circuito, si pensamos el flujo de energía desde un punto, (una fuente de energía) hasta otro punto (receptor de energía).

Podemos ver análogamente los dos ejemplos, donde la energía se disipa en primer lugar por un hombre halando una caja a velocidad constante, y en segundo lugar una batería encendiendo una bombilla a un voltaje constante.

Miremos que el análisis de los procesos mecánicos tiene una enorme similitud vistos desde esta misma perspectiva y de la eléctrica, siendo que toda cantidad mecánica corresponde a una cantidad eléctrica: El momentum (p) es como la carga (q), la corriente de momentum (Ip) es como la corriente de carga eléctrica (Iq) (o también vistas como fuerzas), y la velocidad (v) es como el potencial eléctrico (ϕ) debido a sus comportamientos y descripciones matemáticas similares.

Ahora bien, la velocidad (v) y potencial eléctrico (ϕ) son cantidades que se relacionan con un cambio de energía (dE), esto es, que en un sistema mecánico cambia la cantidad de movimiento (dp) relacionado con la velocidad (v), y para un sistema eléctrico cambia la cantidad de carga (dq), relacionado con el potencial eléctrico (ϕ).

Poniendo esto en términos matemáticos tenemos aquí entonces la siguiente ecuación:

$$dE = V \cdot dp + \phi \cdot dq \quad (\text{Eq 4})$$

Una ecuación que muestra que la energía es igual a la suma de las energías cinética y potencial vistas como flujos de momentum.

Para ilustrar un poco mejor, miremos un par de ejemplos:

En el siguiente ejemplo tenemos dos formas de transferirle momentum a un cuerpo, la primera es que el momentum fluye por un palo a un vagón, y la segunda es que el momentum fluye por una corriente de agua a un vagón.

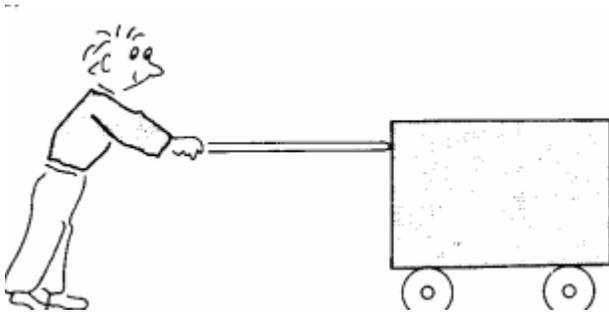


Imagen 3. Ejemplo 3.

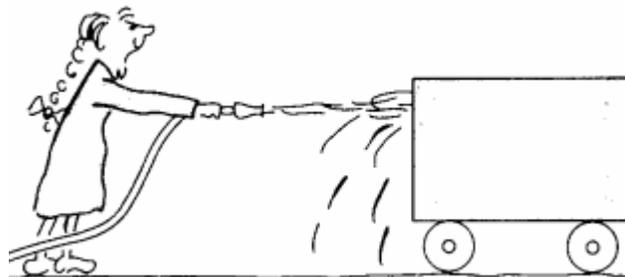


Imagen 4. Ejemplo 3.

Abordaremos las imágenes desde la idea de corriente de momentum, pero antes pensemos el ejemplo anterior desde la perspectiva de la tercera ley de Newton, se diría que para el primer caso el palo que transfiere la cantidad de movimiento ejerce una fuerza de izquierda a derecha hecha por el hombre, y de la misma manera el vagón ejerce una fuerza contraria de igual magnitud; pero no se podría decir lo mismo para el segundo caso, no diríamos que el vagón le está ejerciendo una fuerza al agua disparada por la manguera.

Ahora teniendo en cuenta las corrientes de momentum, podemos decir que para el primer flujo tenemos conducción de momentum y para el segundo flujo tenemos convección de momentum, la diferencia entre conducción y convección, es que la convección puede ser

transformada, mientras que la conducción al ser una interacción directa no puede ser modificada.

Podemos ver que en lugar de hablar de fuerzas iguales y opuestas existen corrientes de momentum para ambos casos, con la diferencia de que para el primer caso se tiene una corriente de momentum conductiva y para el segundo caso se tiene una corriente de momentum por convección, también teniendo en cuenta que la convección puede ser transformada si se elige otro marco de referencia, es decir, se puede cambiar la estructura del montaje, mientras que para el caso de la conducción no se puede hacer, como se dijo antes, ya que es una interacción directa entre los cuerpos. (Herrmann, Analogy between mechanics and electricity, 1984)

Transferencia y tercera ley de Newton.

Ahora tenemos el análisis de la tercera ley de Newton como analogía a la transferencia de momentum.

Para la primera ley de Newton vista en términos de momentum, se dice que la cantidad de momentum contenida dentro de un cuerpo no cambia en tanto el flujo de momentum dentro del cuerpo sea cero.

La segunda ley de Newton expresa la continuidad de los eventos que estemos analizando, mediante la acción de la fuerza sobre un cuerpo, y la tercera ley de Newton puede ser vista como si tuviéramos dos cuerpos interactuando, la fuerza (2-1) que el cuerpo (1) ejerce sobre el cuerpo (2) es igual y opuesta a la fuerza (1-2) que el cuerpo (2) ejerce sobre el cuerpo (1).

Así se ve en términos matemáticos:

$$F (1,2) = F (2,1) \quad (\text{Eq } 5)$$

Ahora la misma tercera ley de Newton vista desde la corriente de momentum.

Siempre que una corriente de momentum está fluyendo en medio de dos cuerpos, la corriente de momentum (I_p) que entra al cuerpo (1) es igual a la corriente de momentum (I_p) que sale del cuerpo (2).

$$(I_p) \text{ que entra en cuerpo (1)} = (I_p) \text{ que sale en cuerpo (2)}$$

De la misma manera pasa con la corriente:

La corriente que entra en un cuerpo (2) es igual y opuesta a la corriente de momentum que entra en el cuerpo (1).

Una corriente negativa que entra en un cuerpo es equivalente a una corriente positiva que sale del cuerpo, considerando que el momentum se conserva.” (Herrmann, 1984).

Consideraciones de la analogía entre mecánica y electricidad.

La perspectiva de corrientes de momentum, de la cual Herrmann hace un análisis muy riguroso, nos permite observar como existe una relación entre los fenómenos de transporte vistos desde la mecánica y la electricidad, y habla de las fuerzas como corrientes o flujo de momentum, siendo estas transferibles mediante portadores, ya sea carga o de momentum, dichos portadores llevan la fuerza, de un cuerpo a otro. De lo dicho anteriormente, podemos decir que, la física se puede ver en términos de magnitudes que fluyen.

También podemos pensar la conservación del momentum en términos de que, la cantidad de movimiento que lleva un cuerpo al chocar con otro se transfiere en su totalidad o vemos perdidas debido al rozamiento o a la viscosidad, pero si tenemos en cuenta que la masa se conserva, dicha cantidad de movimiento también se conservaría.

Fenómenos de transporte.

Ahora tenemos unos fenómenos de transporte que posibilitan ampliar la perspectiva de la conservación en tanto que dichas situaciones nos dejan ver el cómo se da esta transferencia y así poder estudiar cómo la cantidad de movimiento se conserva, así como también se conserva la energía, la carga, la masa, entre otras.

Al tener conservación de cantidades en la naturaleza, esto nos muestra que el movimiento siempre fluye de un cuerpo a otro, y que no hay pérdidas, debido a que la masa que se mueve, siempre queda impregnada ya sea en el cuerpo con el que choca, o se encuentra con la resistencia ya sea del viento, del rozamiento o de la viscosidad.

Al referirnos a los fenómenos de transporte como la viscosidad y la transferencia de momentum en ondas, hacemos una mirada a la transferencia o flujo de dichas cantidades, también a, como unas cantidades que fluyen, son transportadas de cuerpo en cuerpo, y encontramos que a esta continuidad en los fenómenos se les atribuye un tratamiento matemático que pone en términos de una ecuación de continuidad, dichos fenómenos del transporte.

Flujo y ecuación de continuidad

Sabiendo que la ecuación de continuidad es una expresión que muestra el flujo de una magnitud, ya sea momento, carga, energía, etc. Podemos ligar esta ecuación de continuidad a las ideas de corriente, y así ver que estas magnitudes que, si bien llevan cantidades de un lugar a otro, describen dichas propiedades que se conservan, en la medida de que estas cantidades van permeando todo a su paso, y si es el caso ideal, toda la cantidad se transfiere ya que no hay pérdidas en el ambiente que rodea los cuerpos que están involucrados en la transferencia.

Así bien, la ecuación de continuidad nos ayuda a describir ese flujo que ocurre al moverse las cantidades, (conservándose dichas cantidades), podemos decir entonces que la conservación de una cantidad se describe por un flujo que puede ser visto a través de los fenómenos de transporte.

Siendo este el núcleo de nuestro trabajo de investigación, el lograr evidenciar la conexión que existe entre los fenómenos que muestra un transporte o una transferencia, y el flujo que de ellos emerge, para luego mostrar que en dicho flujo, “fluyen” las cantidades, como el momentum, y que dicho momentum o la cantidad transportada se conservará debido a que la

masa en el caso de los fluidos, cuando entra en un recipiente y sale de él, es la misma, apoyado por una ecuación de continuidad que matemáticamente demuestra dicha conservación.

Ecuación de continuidad.

Si bien la continuidad juega un papel fundamental al momento de abordar los conceptos de flujo debido a que actúa como puente para unir a la conservación con los fenómenos de transporte, esta ecuación tiene su origen en describir la conservación de la masa o de la materia, y a su vez, es una expresión matemática que muestra el principio de conservación de la masa.

También tenemos unas salvedades para la conservación de la masa, y es que la masa no puede ser creada ni destruida.

Este principio se conoce generalmente como el principio de conservación de la materia y establece que la masa de un objeto nunca cambia con el tiempo, sin importar cómo se reorganicen las partes constituyentes. Este principio puede usarse en el análisis de fluidos, es decir, en las corrientes de momentum.

Supongamos que tenemos un tubo de sección variable como el representado en la figura inferior por el que pasa un fluido en estado estacionario (la densidad y la velocidad del fluido en cada punto no varían con el tiempo). Como el flujo es estacionario, la forma de las líneas de corriente (representadas en azul en la figura) no varía con el tiempo.

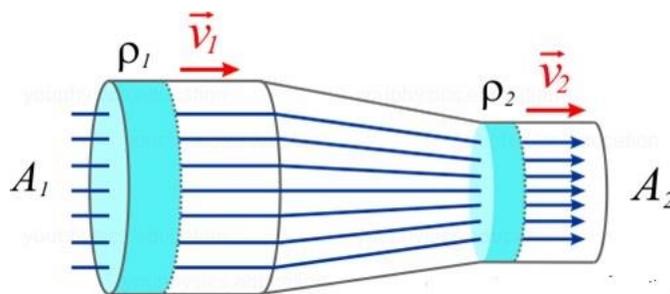


Imagen 5. Ejemplo flujo estacionario. (youphysics, 2020)

Si el fluido no es viscoso (no tiene rozamiento interno), todos los elementos que están en cualquier superficie plana (como la superficie (A_1)) perpendicular al tubo se mueven con la misma velocidad (representada en rojo en la figura). Cuando esos elementos de volumen lleguen a la superficie (A_2) la atravesarán simultáneamente. (YouPhysics, s.f.)

Se denomina flujo del fluido (J) a la cantidad de masa que atraviesa una cierta superficie en cada unidad de tiempo:

$$J = \frac{1}{A} \frac{dm}{dt} \quad (\text{Eq 6})$$

Como la masa tiene que conservarse, el flujo neto en el tubo ha de ser nulo (la masa que entra es la misma que la que sale).

El fluido atraviesa la sección (A_1) de la tubería con una velocidad (v_1); por tanto la cantidad de masa que atraviesa la sección (A_1) en un tiempo (dt) viene dada por:

$$dm_1 = \rho_1 \cdot dV_1 = \rho_1(A_1 v_1 dt) \quad (\text{Eq 7})$$

De manera análoga, la cantidad de masa que atraviesa la sección (A_2) en el mismo tiempo (dt) viene dada por:

$$dm_2 = \rho_2 dV_2 = \rho_2(A_2 v_2 dt) \quad (\text{Eq 8})$$

Pero como no hay pérdidas de masa a lo largo de la tubería:

$$dm_1 = dm_2 \quad (\text{Eq 9})$$

$$[dm_1 = \rho_1 \cdot dV_1 = \rho_1(v_1 \cdot A_1 \cdot dt)] = [dm_2 = \rho_2 \cdot dV_2 = \rho_2(v_2 \cdot A_2 \cdot dt)] \quad (\text{Eq 10})$$

$$\rho_1(v_1 \cdot A_1 \cdot dt) = \rho_2(v_2 \cdot A_2 \cdot dt) \quad (\text{Eq 11})$$

Si además el fluido es incompresible, su densidad es la misma en todos los puntos, por lo que:

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad (\text{Eq 12})$$

Una ecuación de continuidad general también se puede escribir en forma diferencial:

$$\frac{d\rho}{dt} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0 \quad (\text{Eq 13})$$

$$-\frac{d\rho}{dt} = \nabla \cdot \vec{j} \quad (\text{Eq 14})$$

Dónde la ecuación (Eq 13) describe matemáticamente la continuidad para la mecánica de fluidos, la siguiente ecuación (Eq 14) es la descripción matemática de continuidad para el electromagnetismo.

Las últimas dos ecuaciones (Eq 13 y Eq 14) muestran cómo se transfiere la cantidad de un cuerpo a otro, Siendo ∇ el operador nabla que indica divergencia, ρ es la densidad de la cantidad que se transfiere, y u es la velocidad.

En resumen

Con esta descripción de la ecuación de continuidad notemos que tenemos un concepto de transferencia implícito en las ecuaciones mostradas anteriormente, y que estas ideas describen como se transporta la masa y como se transfiere de un cuerpo a otro, así mismo observemos que en la ecuación 7 la densidad de carga transportada esta expresada mediante flujo de carga, que se transfiere de un cuerpo a otro.

Así bien, la ecuación de continuidad además de ser una expresión matemática que es de mucha utilidad para calcular el transporte de cantidad de masa y de carga y de otras cantidades, también es un concepto que implica flujo y continuidad de magnitudes, que viajan de cuerpo en cuerpo y que podemos hacer un análisis de cómo es que se transfieren dichas magnitudes o cantidades.

Podemos agregar que la ecuación de continuidad denota conservación de la masa es su primer acercamiento y estos nos dice que la transferencia está asociada a un principio de conservación tanto de la masa, como de las cantidades que se transfieren, así bien, mediante la ecuación de continuidad que muestra flujo y transferencia podemos abordar la conservación de momentum y de energía mediante estos conceptos y analizar como ocurre dicha conservación de momentum y energía.

Así que continuemos con la descripción de la conservación de momentum y energía vista desde unos fenómenos de transporte como los son la viscosidad y el transporte de momentum en ondas, para abordar un poco más los conceptos de flujo y ver la conservación desde estos fenómenos.

Llegado este punto, hemos descrito y analizado una serie de conceptos que permiten enlazar el flujo (presentado en fenómenos de transporte) con la conservación del momentum y una ecuación o un concepto de continuidad que muestra cómo aparece ese flujo.

Ahora miraremos un ejemplo de un fenómeno de transporte, como es la viscosidad, descrito por la ley de viscosidad de Newton, esto con el fin de entender que es un fenómeno de transporte, (el fenómeno que describe el flujo), y así configurar nuestra propuesta de investigación, que quiere ilustrar esa conexión entre el flujo y la conservación.

Transporte de momentum en un fluido viscoso

Para hablar de la viscosidad en términos de conservación se hace una distinción entre un análisis continuo y uno molecular, siendo el continuo el más estudiado debido a sus manifestaciones mecánicas visibles y apreciables y dejando al análisis molecular como el

riguroso, pero no del todo completo, debido a la complejidad de caracterizar los gases a tan pequeñas escalas, sin embargo, el método del medio continuo, como del molecular, nos arroja un estudio mucho más completo del tema. (Bird, Stewart, & Lightfoot, 1958)

Se puede definir la viscosidad como la resistencia al flujo que tienen los fluidos, entre más difícil sea para un fluido “fluir” o moverse, significa que es más viscoso, además de que, en los líquidos, la viscosidad disminuye con el aumento de la temperatura.

Consideremos un fluido (líquido o gas) contenido entre dos grandes láminas planas y paralelas, de área (A), separadas entre sí por una distancia muy pequeña (Y). Supongamos que el sistema está inicialmente en reposo, pero que al cabo del tiempo (t) = 0, la lámina inferior se pone en movimiento en la dirección del eje (X), con una velocidad constante (V). A medida que transcurre el tiempo el fluido gana cantidad de movimiento.

Una vez alcanzado un estado estacionario de movimiento, es preciso aplicar una fuerza constante (F) para conservar el movimiento de la lámina inferior. Esta fuerza viene dada por la siguiente expresión (suponiendo que el flujo es laminar):

$$\frac{F}{A} = \mu \frac{V}{Y} \quad (\text{Eq 15})$$

Es decir, que la fuerza por unidad de área es proporcional a la disminución de la velocidad con la distancia (Y). La constante de proporcionalidad (μ) se denomina viscosidad del fluido.” También se puede ver la ecuación de la siguiente forma, y se define como la ley de la viscosidad de Newton:

$$T_{YX} = -\mu \frac{dv_x}{dy} \quad (\text{Eq 16})$$

Es decir, que la fuerza de cizalla por unidad de área es proporcional al gradiente negativo de la velocidad local.

Se puede interpretar esta ecuación de otra manera, y es que T_{YX} puede verse como la densidad de flujo viscoso de cantidad de movimiento, y dicha densidad de flujo viscoso sigue la

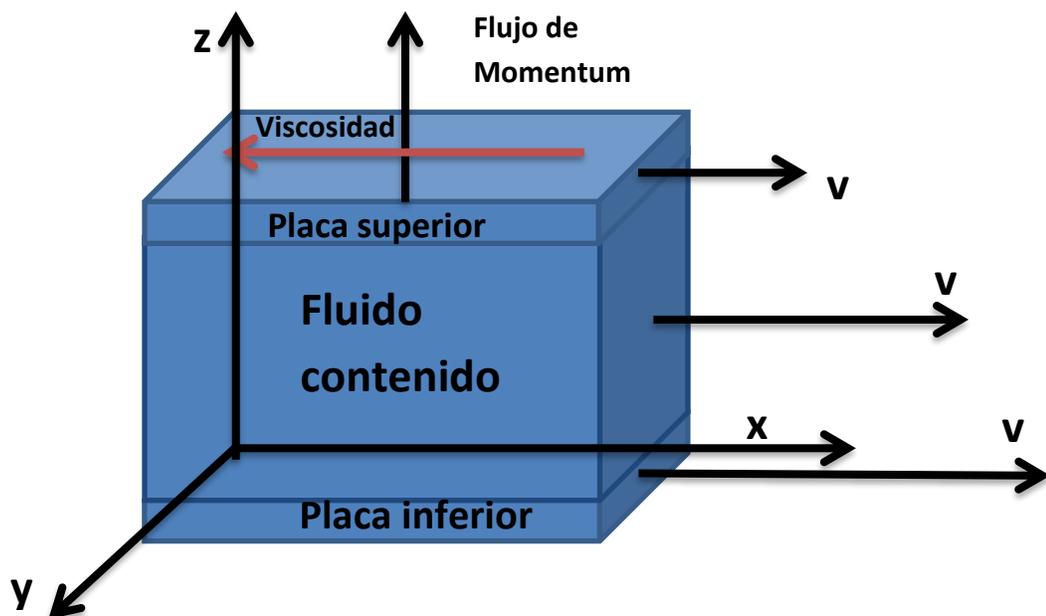
dirección del gradiente negativo de la velocidad, es decir que, se dirige hacia donde disminuye la velocidad.

Nos referimos a la ecuación que describe la ley de la viscosidad de Newton, algunas veces en términos de fuerzas (lo que pone de manifiesto la naturaleza esencialmente mecánica del tema que estamos considerando), y otras, en términos de transporte de cantidad de movimiento (con el fin de resaltar las analogías con el transporte de materia y energía). Este doble punto de vista no crea una dificultad especial, y en cambio, en algunos casos resulta extraordinariamente útil. (Bird, Stewart, & Lightfoot, 1958)

También encontramos fluidos en la naturaleza que no se comportan según la ecuación que describe la ley de la viscosidad de Newton, y estos generalmente son especiales o gases de gran peso molecular se denominan fluidos no newtonianos, estos cumplen otras ecuaciones, esta ciencia que estudia estos compuestos se conoce por reología, la cual solo la dejaremos mencionada.

A continuación tenemos una gráfica que nos muestra como aparece el vector del flujo del momentum, siendo esta la representación de un fluido contenido en dos placas paralelas del mismo fluido.

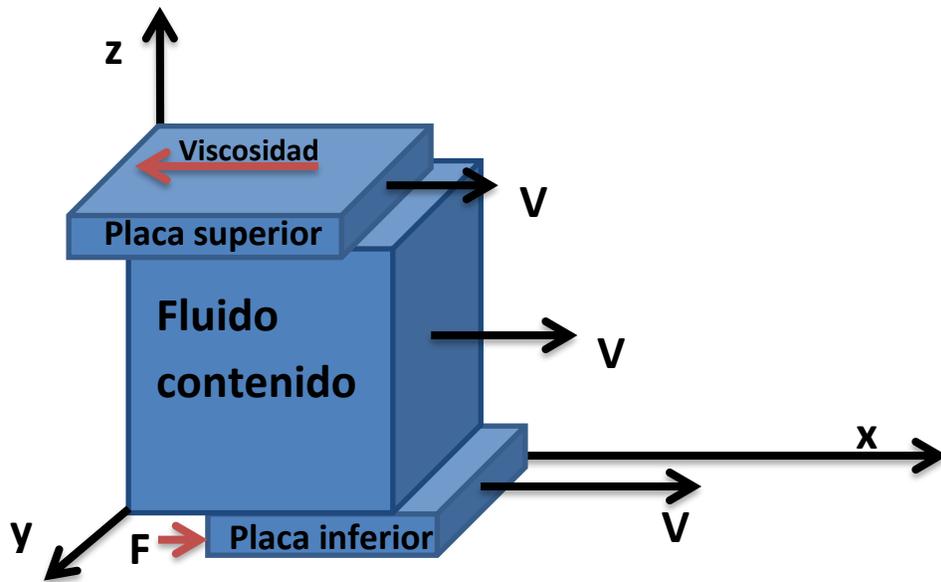
En otras palabras se puede considerar un fluido con dos bordes paralelos que soportan el fluido y evitan que se salga. Siendo los bordes del mismo fluido.



Gráfica 1. Estudio de fluidos por placas.

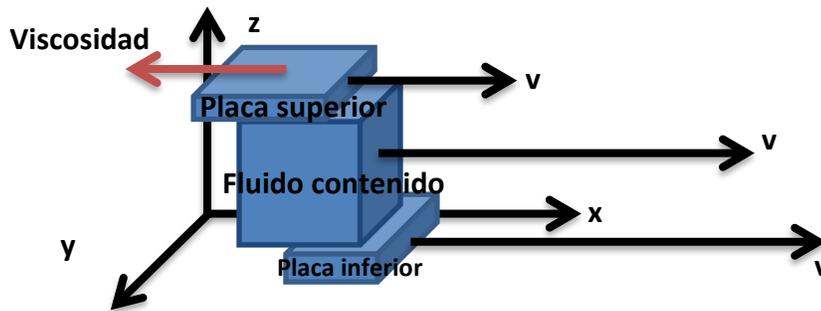
Para una mejor comprensión de la gráfica, analizaremos el fluido y sus placas separadamente, es decir, vamos a tomar la placa inferior como una sola masa movable, el fluido que está en el medio, como otra masa que se mueve, y por último la placa superior, al igual que las anteriores, consideraremos que se mueve como una masa individual.

Si consideramos que la placa de abajo (placa inferior), empieza a desplazarse en la dirección (+x), debido a una fuerza (**F**) externa que se le aplica, podríamos evidenciar que a medida que las secciones se mueven, también empieza a moverse el fluido contenido entre estas, en la misma dirección de (+x), pero con una velocidad inferior.



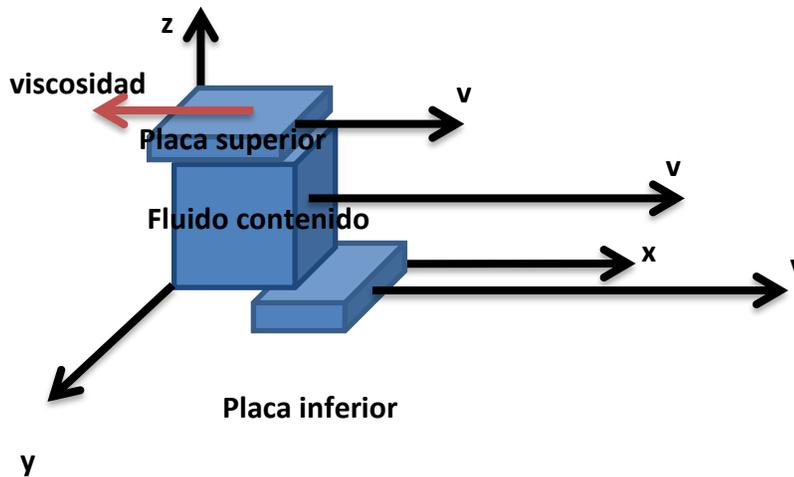
Gráfica 2. Estudio de fluidos por placas.

Esto se debe a que la placa inferior es la única que se mueve por fuerza externa, (no estamos aplicando fuerza a todo el sistema sino solo a la placa inferior, considerando que dividimos el sistema, no es compacto), podríamos pensar que si solo movemos la placa inferior, tanto el fluido contenido en las dos placas, como la placa superior, no se moverán a la misma velocidad de la placa que lleva la fuerza aplicada, sino que, serán arrastradas paulatinamente. Por consiguiente, la placa que lleva la fuerza aplicada arrastra al fluido contenido en las dos placas arrastrando seguidamente a la sección superior.



Gráfica 3. Estudio de fluidos por placas.

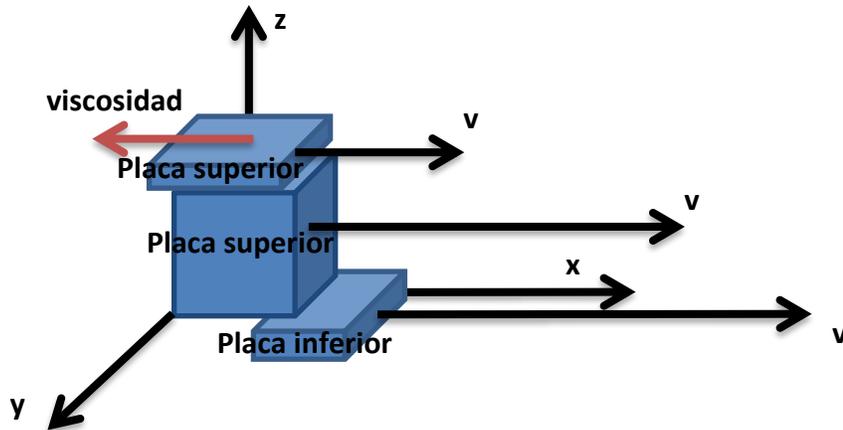
Mientras se está arrastrando el fluido debido a la placa inferior, va quedando un espacio en el eje (y), es decir, si consideramos que empezamos a mover la placa inferior desde $y=0$, al cabo de un tiempo inicial, ($t=t_1$), la placa estará en ($y=y_1$), mientras que el fluido contenido estará en ($y=0$), de igual manera la placa superior estará en ($y=0$).



Gráfica 4. Estudio de fluidos por placas.

Cuando llegamos a un ($t=2$), la placa inferior estará en un ($y=y_1$), un poco más lejos, pero el fluido contenido en las dos placas llegará a ($y=y_1$), y la placa superior seguirá en ($y=0$), no

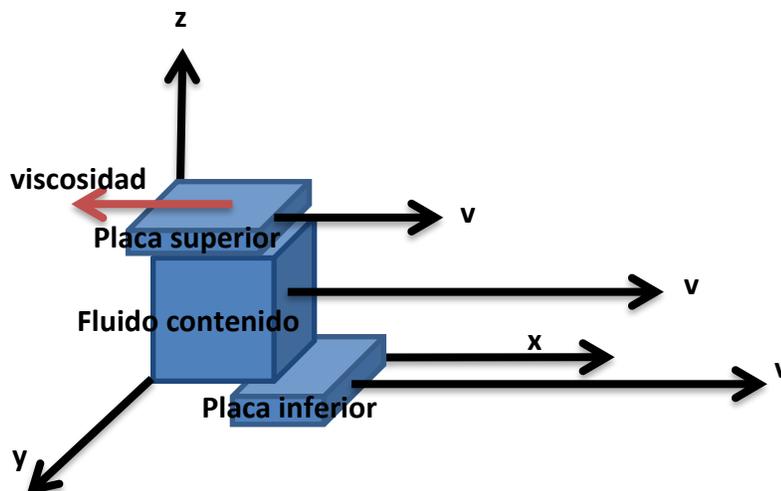
será hasta que el fluido se desplace un poco más (arrastrado por la placa inferior) que la placa superior alcance a ($y=y_1$).



Gráfica 5. Estudio de fluidos por placas.

Cuando la placa inferior se detiene, estará en un (Y) mayor que el fluido, y este a su vez estará en un (Y) mayor que la placa superior, pero luego de detenerse la placa inferior, el fluido por inercia seguirá un poco su dirección que llevaba debido al ser arrastrado por la placa inferior, y de igual manera el movimiento inercial será suficiente para que la placa superior se desplace un poco debido al arrastre causado por el fluido contenido,

Luego de ver que debido a una placa que se desplace por fuerza externa tanto el fluido como la placa superior también se mueven para compensar el efecto, tenemos aquí un flujo de momentum debido a las compensaciones que tiene el sistema.



Gráfica 6. Estudio de fluidos por placas.

Por otro lado tenemos la viscosidad del fluido quien así como el movimiento inercial arrastraba tanto al fluido como a la placa superior, la viscosidad actúa como un vector de fuerza de rozamiento que se resiste al movimiento causado por la placa inferior.

Si la fuerza aplicada en el eje (Y) por unidad de área (A) es igual al coeficiente de viscosidad (μ) multiplicado por un diferencial (dv) de velocidad en eje (Y) dividido en un diferencial de altura (dz), escrito en modo de ecuación,

$$\frac{F_y}{A} = -\mu \frac{dv_y}{dz} \quad (\text{Eq 17})$$

podemos analizar esta ecuación como una fuerza (F) aplicada en la dirección (Y) a la placa inferior que está a una altura (Z_0), dicha placa empezará a moverse y arrastrará al fluido que está a una altura (Z_1), y este fluido arrastrará a la placa superior que está a una altura (Z_2), por lo tanto la velocidad varía con respecto a la altura (Z), por lo que podemos decir que la fuerza aplicada (F) en la dirección (Y) sobre el área (el plano) (A) es igual a la fuerza de cizalla (T) con coeficientes (zy),

$$T_{zy} = \frac{F_y}{A} \quad (\text{Eq 18})$$

El primer coeficiente (z) indica la altura donde varía la velocidad, y el segundo coeficiente (y) indica que la fuerza se aplicó en esa dirección. Podemos decir que la fuerza (F) es igual al diferencial de momentum (dp) sobre el diferencial de tiempo (dt).

$$F = \frac{dp}{dt} \quad (\text{Eq 19})$$

Ahora podemos decir que la fuerza aplicada (F) en la dirección (y) sobre el área (A) es igual al diferencial de momentum (dp) en la dirección (y) sobre el área (A) multiplicado por el diferencial de tiempo (dt).

$$\frac{F_y}{A} = \frac{dp_y}{A \cdot dt} \quad (\text{Eq 20})$$

Ya que:

$$T_{zy} = \frac{F_y}{A} \quad (\text{Eq 21})$$

Tenemos entonces.

$$T_{zy} = \frac{1}{A} \frac{dp_y}{dt} \quad (\text{Eq 22})$$

El diferencial de momentum (dp) sobre el diferencial de tiempo (dt) indica un flujo de momentum (J),

$$J = \frac{1}{A} \frac{dp}{dt} \quad (\text{Eq 23})$$

Nos devolvemos en la ecuación y reemplazamos este flujo de momentum (J) por la fuerza de cizalla (Tzy), quedándonos que el flujo de momentum (dp) es igual al gradiente negativo de la velocidad respecto a la altura,

$$J_{zy} = -\mu \frac{dv_y}{dz} \quad (\text{Eq 24})$$

Es decir que, el flujo de momentum apunta hacia donde disminuye la velocidad con respecto a la altura (Z), o sea, tenemos un flujo de momentum (J) en la dirección (Z+).

Siendo esta ecuación de tipo tensorial, ya que podemos decir que los coeficientes de la fuerza de cizalla (T_{zy}) depende de: hacia donde se aplique la fuerza en primer lugar, puede ser en el eje (x), en el eje (Y), o el eje (Z), y también depende de qué eje tomemos para medir la altura, podemos tener fuerza aplicada en la dirección (Y) respecto a la altura (Z), fuerza aplicada en la dirección (X) respecto a la altura (Z), o fuerza aplicada en la dirección (Z) respecto a la altura (Z), como también podemos tener fuerza aplicada en la dirección (Z) respecto la altura (Y), fuerza aplicada en la dirección (X) respecto a la altura (Y), o fuerza aplicada en la dirección (Y) respecto a la altura (Y), y del mismo modo podemos tener fuerza aplicada en la dirección (Y) respecto la altura (X), fuerza aplicada en la dirección (Z) respecto a la altura (X), o fuerza aplicada en la dirección (X) respecto a la altura (X).

Tenemos entonces nueve componentes descritos por el tensor de flujo de momentum que se expresa (J_{zy}).

$$J_{zy} = \begin{pmatrix} J_{zz} & J_{zy} & J_{zx} \\ J_{yz} & J_{yy} & J_{yx} \\ J_{xz} & J_{xy} & J_{xx} \end{pmatrix} \quad (\text{Eq 25})$$

O en su forma base:

$$\frac{F}{A} = \mu \frac{V}{Y} \quad (1)$$

Generalidades sobre la viscosidad.

Con estas ideas podemos pensar que tenemos unas herramientas para abordar el flujo de momentum, no solo desde su cotidiana medida de un momentum inicial y un momentum final, sino que, también podemos estudiar estos fenómenos de transporte que dan cuenta de cómo se presenta dicho vector de flujo de mometum, que habla sobre cómo se da la transferencia en un fluido viscoso, y así mismo se hace uso de otros conceptos que ayudan a

mejorar la comprensión del tema, como lo es la fuerza de cizalla y el cambio de la velocidad que varía respecto a la altura.

Ahora tenemos un conjunto de elementos que son de una u otra manera un poco distinta a la hora de abordar el tema de la conservación del momentum, ya que son unos elementos bastante prácticos para su comprensión una vez estemos inmersos en el tema de los fenómenos de transporte, porque si bien, dichos fenómenos nos ayudan a caracterizar el sistema en términos de corrientes de momentum y de transferencia de cantidades, donde se evidencia el flujo del momentum, también estos fenómenos nos muestran el paso a paso de la transferencia de cantidades que se da entre cuerpos.

No queremos caer en confusión y que estos fenómenos de transporte expliquen el flujo de momentum de mejor manera que lo hacen los ejemplos cotidianos, tales como medir el momentum inicial y final en una caída de cuerpos de una montaña rusa, o medir momentum en el choque de dos autos, pero sí aportan para que el estudio del transporte del momentum tenga una mayor variedad y se evidencie lo que ocurre justo en el momento de una interacción.

Transporte de momentum en ondas.

El transporte de momentum por medio de ondas es algo raramente visto en los libros de física, por ello queremos nombrarlo aquí, ya que propone explorar más de cerca estos fenómenos de transporte, así como visibilizar todo el proceso que se describe mediante la ecuación de onda para que este análisis tenga un aprendizaje significativo en los cursos de física introductoria de ondas, y no se vaya directo a abordar la ecuación de onda y resolverla, sin antes haber visto toda una descripción de transferencia de momentum.

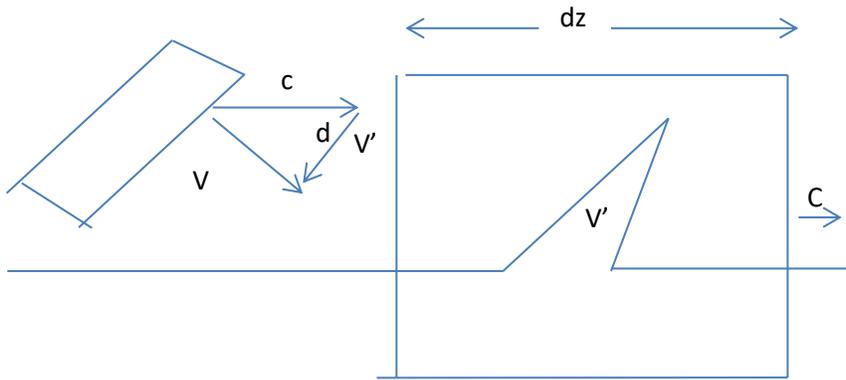


Imagen 5. Representación de una onda viajando.

Se comienza con una onda imaginaria que viaja a velocidad (c). Esta figura representa una posible deformación viajando en la dirección positiva de (z). Luego se analiza un pequeño segmento representativo de longitud (ds), el cual está orientado a un ángulo (α) relativo al eje (z), ahora este segmento ha proyectado longitudes (dz) y (dp) a lo largo del eje y también de forma perpendicular, y se mueve con velocidad (v) en el marco de referencia del laboratorio.

Luego hallamos que el vector en cuestión es una componente de la velocidad de avance (c_z) tomando la figura de referencia, y la velocidad (v), que también es de magnitud c , del segmento que se muestra en la figura.

Refiriéndose al diagrama de la figura y haciendo uso de la ley de los cosenos, obtenemos la relación:

$$v^2 = 2c^2(1 - \cos \alpha) = 2c^2 \left(1 - \frac{dz}{ds}\right) \quad (\text{Eq 27})$$

De la cual la energía cinética del segmento (ds) es hallada para ser:

$$\delta K = \frac{1}{2} \sigma_0 \cdot \delta s \cdot v^2 = \sigma_0 \cdot c^2 (ds - dz) \quad (\text{Eq 28})$$

Con esta ecuación también podemos hallar las componentes del momentum de los segmentos, usando las componentes de la velocidad del marco de referencia de la figura, obtenemos:

$$\delta P_z = \sigma_0 \cdot \delta v_z = \sigma_0 \cdot \delta s \cdot c(1 - \cos \alpha) = \frac{dk}{c} \quad (\text{Eq 29})$$

Y:

$$\delta P_p = \sigma_0 \cdot v_p = -\sigma_0 \cdot \delta s \cdot c \cdot \sin \alpha = -\sigma_0 \cdot \delta p \quad (\text{Eq 30})$$

El pulso entero o alguna sección de interés involucran una longitud de la cuerda (Δs) cuyo extremo delantero está separado del trasero por un intervalo axial (Δz), las cantidades ($\Delta s - \Delta z$):

$$\Delta m = \sigma_0 \cdot (\Delta s - \Delta z) \quad (\text{Eq 31})$$

Debe representar el exceso de longitud de masa de la cuerda que ha sido acumulada en el intervalo (Δz) en que constituye la deformación. Entonces una simple sumatoria puede ser realizada sobre la energía cinética del segmento como describe la ecuación 2 y hallamos que la energía total (completamente cinética) llevada por el pulso es:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 \quad (\text{Eq 32})$$

Y los correspondientes momentum longitudinal y transversal llevados por el pulso son:

$$\Delta P_z = \frac{\Delta E}{c} = \Delta m c \quad (\text{Eq 33})$$

$$\Delta P_p = -\sigma_0 \cdot c \cdot \Delta \rho = 0 \quad (\text{Eq 34})$$

La ecuación treinta y tres (Eq 33) se refiere al momentum transportado por la onda en dirección de propagación, mientras que la ecuación que sigue (Eq 34) se refiere al momentum en dirección de vibración. (Juenker, 1975)

Generalidades del transporte de momentum en ondas.

En algunos textos al abordar la explicación del efecto fotoeléctrico se menciona que en la interacción de la radiación (onda) con el electrón (partícula), el momentum transferido al electrón es expresado por la ecuación expresada anteriormente (Eq 34), donde c es la velocidad de la luz, notemos que la explicación del efecto fotoeléctrico se hace por medio de un modelo de interacción mecánica, onda partícula, y podemos decir que la onda transfiere momentum cuando ocurre la interacción entre la onda-partícula.

La masa aquí no se define como cantidad de materia, sino como una propiedad de los cuerpos, la cual hace referencia a la respuesta que estos ofrecen ante las interacciones, como puede haber interacción entre un pulso ondulatorio y un cuerpo, y ambos ofrecen respuesta ante tal interacción, a la onda también se le puede atribuir masa y por lo tanto transporte de esta. En este sentido es que se plantea, la masa acumulada en el pulso a la que se refiere la ecuación treinta y uno.

Notemos que la ecuación que expresa la energía cinética transportada por la onda (Eq 32), muestra una relación de proporcionalidad directa con la masa, de tal modo que, nuevamente pone de manifiesto que la masa no es tomada como cantidad de materia. Notemos además que la ecuación treinta y dos es la misma ecuación de la energía relativista. Pero estos desarrollos fueron hechos mucho antes del surgimiento de la teoría de la relatividad.

En el estudio del movimiento ondulatorio se encuentra una amplia gama de fenómenos físicos, tales como ondas elásticas en medios materiales hasta ondas electromagnéticas en el vacío, en cada fenómeno es un análisis riguroso y particular para cada uno, pero estas clasificaciones tienen algo en común, y es que los campos asociados a las ondas responden al modelo de la ecuación de onda.

Ahora bien, hay ciertos fenómenos naturales asociados al concepto de propagación, que no se pueden explicar mediante el mismo modelo, pero que también tienen una velocidad de propagación como en el modelo original; estos fenómenos físicos se conocen como fenómenos de transporte, estos son procesos en los cuales se presenta una transferencia o un transporte de materia, energía o momentum, caracterizados por una ecuación de propagación". (Juenker, 1975).

Fenómenos de transporte y conservación de momentum y energía.

En este punto del trabajo podemos concluir que, una representación desde los fenómenos de transporte, es una perspectiva que puede ser utilizada para hablar de corrientes de momentum en lugar de fuerzas, al describir como es la dinámica en un sistema, como por ejemplo, un choque entre cuerpos, y gracias a estos conceptos podemos tener una descripción de corrientes o flujos por un lado, y la descripción tradicional que encontramos en los textos de física en otro lado, y con estas ideas, podemos abordar la conservación de momentum y energía.

Así que a medida que tengamos más perspectivas, entenderemos un poco mejor todo este tema de la conservación, y gracias al trabajo de los diferentes autores que han estudiado la conservación y los fenómenos de transporte, podemos afirmar que, los fenómenos describen la dinámica de los sistemas, y que también estos fenómenos de transporte son indispensables en la enseñanza de la física, debido a que se pueden trabajar ejemplos muy sencillos para mostrar la transferencia y el flujo junto con las explicaciones tradicionales, o únicamente los montajes de dichos fenómenos en cursos introductorios de la física en los colegios y universidades.

Al momento de llegar a hablar de los trabajos de Bird, de Juenker, de Joel, podemos ver que estos son encaminados al estudio de ese concepto de transporte y transferencia, que podemos encontrar en la conservación viéndolos desde unos fenómenos de transporte, que si bien, cada uno lo aborda de manera distinta, todos tienen en común que los fenómenos de transporte hablan y describen cómo se transfieren las cantidades, cómo el momentum, la energía, la carga, y muchas otras, así como analizar la ley de Newton de la viscosidad, para describir la transferencia en fluidos viscosos, también para describir el transporte de momentum en ondas, y podemos pensar que tanto la conservación de momentum y energía se pueden describir mediante los conceptos de flujo y transferencia y que, mediante los fenómenos de transporte podemos abordar la conservación.

Capítulo III, El análisis conceptual y la re contextualización como herramientas para abordar los fenómenos de transporte.

La problemática en cuestión.

Este trabajo de grado realiza una investigación vista desde un análisis conceptual, donde se presenta un estudio de los conceptos que se van a abordar en el trabajo, y de ellos configuramos un estudio que nos permite evidenciar las dificultades que se presentan en los cursos introductorios de física, y como abordar esta problemática y darle solución mediante el estudio de los fenómenos de transporte y los conceptos de flujo, transferencia y continuidad.

Si bien sabemos que la manera tradicional de la enseñanza de la física se centra en el aprendizaje de teorías físicas para el caso de la física, también podemos evidenciar que dicha manera de enseñar deja un desinterés en los estudiantes a la hora de abordar estos temas en física, como lo son la conservación de momentum y energía.

Cabe aclarar que no buscamos desprestigiar el trabajo de todos los docentes que abordan estos temas de la manera tradicional, con nuestro trabajo de grado solo pretendemos mostrar una perspectiva diferente de lo que vendría siendo una forma de enseñanza de la física basada en una re contextualización de saberes, que propone remitirnos a la historia de las ciencias y como estos conceptos que se han trabajado a lo largo de la historia juega un papel crucial al momento de hablar de las teorías de la física.

Análisis Conceptual.

Para este capítulo de la investigación tomamos el análisis conceptual para darle una mirada a los fenómenos que se estudian en uno de los temas grandes de la física como lo es la conservación.

Y es que dicho análisis de corte conceptual permite ir hasta donde están los fenómenos, analizarlos y dialogar sobre ellos, otorgando una mirada más profunda para que el aprendizaje sea basado en los fenómenos que evidencien los estudiantes y no mediante

acciones de copiar y pegar ya sea del tablero o de internet, que no es nunca la intención de un docente, pero infortunadamente se evidencia en el poco interés de los estudiantes hoy en día del aprendizaje de las ciencias y para este caso en específico, el aprendizaje de la física. (Castillo Ayala, 2004)

El análisis conceptual se puede caracterizar como un método no empírico, que trabaja con enunciados textuales y no con datos de naturaleza sensible. Los datos con que opera son descripciones, definiciones, listas extensivas, ejemplificaciones de uso, contraposición de textos con significados alternativos y formulaciones simbólicas.

El análisis conceptual se preocupa por la naturaleza de las definiciones y del lenguaje; trata de encuadrar los términos y sus interconexiones. Tiene como principios orientadores la naturalidad, aplicabilidad, complejidad y simplicidad. Examina cuidadosamente la diversidad de significados, las posibilidades de conexión entre los términos y los niveles subjetivos (creencias y concepciones) y objetivos de cada campo conceptual. Contextualiza la definición dentro del área en que se inserta. Usa ejemplos y contraejemplos, en vez de la definición explícita. Emplea analogías y términos evocativos en vez de pruebas, axiomas o cuantificaciones.

El análisis conceptual se sirve de la historicidad y dinamicidad de los términos. Permite una reflexión previa sobre la cuestión que se quiere investigar, determinando y caracterizando aquellos puntos claves que delimitan el problema en estudio y las ideas, conceptos y teorías sobre los que se quiere abordar su resolución. Trata de eliminar las inconsistencias derivadas de la falta de precisión en el significado de los conceptos utilizados. (Rico)

En busca de la comprensión y caracterización de los fenómenos naturales el ser humano se ha ido preocupando por la construcción de definiciones y conceptos para la comprensión de la realidad física; sobre la conservación de la energía, investigaciones han propuesto diseñar y elaborar un conjunto de experiencias para construir con los estudiantes la definición de la convertibilidad de fenómenos físicos con un carácter epistemológico. En el caso de la construcción de la convertibilidad de los fenómenos como categorías epistemológicas se da prioridad en sí a las relaciones que establece el estudiante respecto a las maneras como habla, piensa y actúa al momento que estudia los procesos de fenomenológicos; lo que prevalece

entonces para fomentar una construcción de saberes sobre un fenómeno son los procesos cognitivos que establece el estudiante sobre el fenómeno que se estudia pues los procesos de construcción de conocimiento son continuos y no se detienen.

Cuando las personas son capaces de dejarse afectar por los fenómenos naturales que lo rodean (sensibilidad), la capacidad más admirable y compleja que posee el hombre; y luego de haber organizado las experiencias los seres humanos establecen y otorgan una identidad para darle reconocimiento a los objetos que estudian y que pasan por algún tipo de cambio, es necesario decretar de una vez que la convertibilidad de los fenómenos se concibe de dos formas, como el estudio de lo que cambia de una magnitud y el estudio de lo que se conserva después del cambio.

Al momento de estudiar los cambios lo hacemos mediante un proceso de comparación de magnitudes, a partir de identificar cuando un objeto permanece invariante se puede entonces explicar cuáles podrían ser las variaciones y así dar cuenta de un cambio. Cuando observamos el cambio de un fenómeno físico explicamos el efecto en términos del fenómeno físico: estas explicaciones se obtienen cuando las personas logran tener una organización de la sensibilidad y logran formar una representación del mundo físico.

En el sentido de que la conservación de los fenómenos se define en la organización de la sensibilidad que realiza un sujeto, encontramos que el lenguaje, la experiencia y el conocimiento permite definir los diferentes procesos de transformación que existen, en nuestro caso en específico en la conservación de la energía, lo ideal es generar estrategias didácticas para que los estudiantes construyan conscientemente la comprensión del fenómeno mencionado anteriormente.

La perspectiva fenomenología se entiende como la capacidad del hombre al ser afectado por alguna situación y este en la búsqueda de la organización de esta información es consciente de la comprensión que ha obtenido sobre la situación, de los cambios en su forma de pensar y de ver el mundo; construyendo así un campo fenomenológico que trae consigo la descripción y explicación detallada del fenómeno por parte de las personas. En la construcción del campo fenomenológico se espera que el estudiante sea consciente de la

construcción de saberes y pueda aplicar la nueva información para dar explicación y descripción a las cuestiones fenomenológicas que rodean el mundo.

Docentes que han estudiado el tema dicen lo siguiente: “En este orden de ideas es necesario destacar el carácter exhibido y constructivo del fenómeno. Las descripciones e interpretaciones que demanda la comprensión de una fenomenología exigen la organización de una serie de experiencias y observaciones intencionadas, esto es una descripción detallada del fenómeno, la cual está imbricada en la actividad experimental que exige una comprensión conceptual que acompañe a la intervención y disposición experimental” (Malagón, Sandoval, & Ayala, 2013). A medida que la persona observa el fenómeno sus procesos de aprendizaje le van permitiendo organizar las experiencias y los conceptos que van apareciendo en el transcurso de las actividades, las personas le atribuyen al fenómeno estudiado diferentes modos de organización, que va cambiando a razón del avance en la organización y construcción del campo fenomenológico.

La intención en organizar las actividades experimentales es un factor importante en la organización de los fenómenos por parte de los estudiantes, si se configuran – efectos sensibles- (Malagón, Sandoval, & Ayala, 2013) es posible identificar las formas de pensar y de hablar de los estudiantes. Es indispensable trabajar en las situaciones o fenómenos que los estudiantes van a estudiar. Tales -efectos- se enfocan en reproducir experiencias o situaciones que permitan a los estudiantes identificar un cambio o una causa que genera el -efecto sensible- observado.

Re contextualización de saberes.

Como objetivo de este trabajo se busca contextualizar aquellos conceptos de conservación y transferencia presentados por diferentes autores como Herman, Juenker, Bird, Joel, Castillo,

lo que significa ir hasta donde están los conceptos, analizarlos, entenderlos de qué se tratan y traerlos a una investigación para analizar la conservación desde estos conceptos.

De la manera como entendimos a Herman es que quiere llevar una perspectiva de corriente o de flujo a una explicación cotidiana y cambiar el paradigma de hacer siempre lo mismo en la escuela, y al traer los conceptos de flujo de corriente, podemos mostrar un análisis propio y configurar nuestra propuesta de trabajo.

Así bien el análisis que se presenta en este trabajo “recoge aquellos conceptos de algunos autores, así como también vamos a la historia de las ciencias a traer dichos conceptos, entendiendo que no podemos hablar de una re contextualización de saberes sin ir y mirar que se ha dicho sobre la física que estamos abordando en este trabajo. Para lograr eso, miramos el concepto de fenómenos de transporte para darle una mirada distinta a la conservación de momentum.” (Castillo Ayala, 2008)

Si bien cuando entramos a un salón de clase y queremos compartir una experiencia acerca de la conservación de momentum y energía con los estudiantes, eso puede tornarse muy repetitivo en la medida que nos dirigimos siempre a mirar los libros introductorios de física, que si bien hacen una muy buena explicación de cómo se conserva el momentum, no nos posibilita abordar los conceptos de transferencia muy a fondo” (Castillo Ayala, 2008).

Y es aquí cuando este trabajo cobra sentido, ya que implica un trabajo de retomar esos conceptos, que están muy apartados en diferentes libros o están alejados, pero podemos hacer una re contextualización de saberes para este caso en nuestra investigación, traer los conceptos, miramos como sucede la conservación en términos de fenómenos de transporte y analizamos dichos fenómenos.

Cuando hacemos un análisis conceptual nos estamos refiriendo a mirar que hay en los libros acerca de un tema en específico, y darle sentido para compartir dicho conocimiento con los estudiantes, esto con el ánimo de que se aprenda la física desde varias perspectivas y despierte interés en los estudiantes de hoy en día.

Conservación de momentum y energía en el aula.

Para este capítulo final de nuestro trabajo de grado hemos hecho un análisis desde los conceptos de transferencia y conservación hasta pensar estos conceptos como se verían en el aula y con los estudiantes, dicho así, queda en evidencia que el trabajo que hacemos enlaza la manera en que se busca que la física no se quede solo en dictar una serie de conceptos y leyes de conservación y que se quede en la definición de los mismos, sin ver antes los fenómenos de transporte para ver qué es lo que pasa en la conservación.

Y es en esta medida que es importante hablar de los fenómenos de transporte, para que haya un aprendizaje significativo, entendiendo este aprendizaje como la manera en que tanto el maestro como el estudiante se retroalimentan y aprenden juntos.

Cuando hablamos de flujo y no mostramos algún fenómeno que nos ayude a ilustrar a los estudiantes dicho flujo, estamos cayendo en el error de repetir algo que se ha venido haciendo desde hace mucho tiempo y que no ha tenido buena aprobación por parte de los estudiantes y maestros, tenemos que ser capaces de mostrar cómo se da la transferencia de momentum.

Un ejemplo muy claro es cuando jugamos billar o pool, en este deporte podemos abordar muchísimos conceptos que nos ayuden a profundizar la transferencia, los portadores de energía y de momentum, la conservación de la masa y del momentum, y cómo es que a medida que se mueve la bola en la mesa, va siendo frenada por una fuerza de rozamiento que si bien nos muestra que la energía de la bola se transforma en calor debido al rozamiento, vemos que la energía restante transformada en movimiento de la bola, se transfiere a otra bola, y que esta otra bola sigue en movimiento hasta detenerse.

Este es uno de los tantos ejemplos que se pueden explicar de una manera muy sencilla para mostrar la conservación de momentum y energía, y utilizar los conceptos en este trabajo mencionados, como transporte, transferencia, fenómenos de transporte.

Conclusiones.

Es aquí cuando podemos avanzar en la enseñanza de la conservación de momentum en términos de transferencia, y así como este ejemplo hay muchos otros ejemplos que nos ayudan a abordar estos conceptos de transferencia y flujo y, por parte del análisis conceptual, nos ayuda a explicitar lo que sucede en el mundo físico, teniendo en cuenta que esa siempre ha sido la meta, mostrar física a las nuevas generaciones de una forma evidente, que se entienda por lo que se ve, por lo que se experimenta, y que se sienta entre el estudiante y el fenómeno, y para este caso los fenómenos de transporte.

Ahora bien, en concordancia con el trabajo de grado, podemos concluir que hay muchas maneras de describir dicha conservación, y entre tantas perspectivas que se han estudiado a lo largo de la historia, tenemos esta perspectiva de los fenómenos de transporte, que si bien nos hablan de cómo se da la transferencia de las cantidades que se conservan, también nos hacen saber, que mediante dichos fenómenos, podemos dar explicación de la continuidad y de la dinámica de los sistemas en donde encontramos conservación.

Para concluir esta parte de la investigación, podemos decir que ha sido un trabajo de analizar unos fenómenos de transporte, así como abordar la ecuación de onda y unos conceptos de flujo y transferencia para hablar de la conservación desde una perspectiva de flujo. Si bien hay unos conceptos físicos que describen fenómenos en la naturaleza, tenemos toda un parte dedicada a la conservación de energía y momentum, cantidades que se dice que se conservan debido a la experiencia que hemos tenido estudiando dichos fenómenos, pero no se muestra con mucha claridad ni frecuencia esta perspectiva del flujo y transferencia al momento de abordar la conservación.

Faltará mucho por seguir estudiando y este trabajo es apenas una pequeña investigación para lo grande que es el tema de la conservación, y aunque gracias al estudio de los fenómenos de transporte llegamos un poco más lejos, siempre se podrá continuar este trabajo en pro de entender de una manera más completa tanto los fenómenos de transporte, como la

transferencia de las cantidades de la naturaleza, y como llegamos a estos conceptos de conservación que han sido un eje transversal en la historia de las ciencias y de la física.

De la problemática abordar podemos concluir que la conservación de energía y momentum vista desde los fenómenos de transporte arrojan una perspectiva más descriptiva para los estudiantes.

La problemática que nos encontramos donde a los estudiantes de cursos introductorios se les explica la conservación de momentum y energía y se les presenta ejemplos como el de una esfera bajando por un rodadero, y luego se habla de que hay una energía potencial al inicio, y esta se va “transformando” en energía cinética hasta que la esfera llega al suelo, hace que los estudiantes comprendan el fenómeno de conservación de momentum y energía pero deja unas cuestiones al aire.

Muchas veces se vuelve para los estudiantes unos ejercicios de memorizar el concepto y de repetir lo que se ha dicho en diferentes ejemplos, y se identifican patrones en diferentes eventos, pero las dudas acerca de cómo se transfiere, como se da la transferencia durante la transformación de energía, siguen apareciendo, y es que si bien se entiende que el momentum se conserva, los estudiantes se preguntan cómo es que lo hace, porque ven un evento en donde se conserva el momentum pero no se entiende cómo.

De aquí se puede decir que abordar la conservación desde los fenómenos de transporte y abordar la conservación desde las ideas y conceptos de flujo y transferencia describen los fenómenos de una manera más completa y deja ver que sucede mientras ocurre la conservación, lo que se vuelve más ilustrativo para los estudiantes y permite hacer un análisis de lo que está ocurriendo en los eventos.

Desde mi punto de vista lo que abordamos en este trabajo muestra que hablar la conservación desde los conceptos de flujo y transporte permite a los maestros en formación abordar una estrategia para abordar la física en general, y este trabajo aborda los conceptos de flujo y transferencia encaminados a la conservación de momentum y energía, pero los conceptos de flujo y transferencia son unas ideas y conceptos transversales que se pueden utilizar para abordar la física en general, así como en la mecánica y la electricidad en donde podemos hablar de fuerza mecánica y eléctrica desde corrientes de momentum, (Herrmann, Analogy

between mechanics and electricity, 1984), así como también podemos abordar la transferencia de calor en termodinámica con los conceptos de flujo y transferencia, por otro lado al hablar de interacción entre onda partícula en mecánica cuántica también se puede abordar desde el concepto de flujo, y así podemos continuar describiendo la física e términos de estos conceptos de flujo; y si con estos conceptos podemos abordar muchos temas de la física, podemos concluir que estas ideas son una estrategia de enseñanza con los cuales podemos tratar en distintas explicaciones, distintos experimentos y mostrar la física en términos más prácticos.

Al realizar este trabajo concluimos que mediante unos conceptos prácticos como el flujo y la transferencia podemos abordar distintos temas en la física, para este caso abordamos la conservación de energía y momentum desde unos fenómenos de transporte que podemos llevar al aula de clase, en tanto a que la conservación de momentum y energía es un tema fundamental en cursos introductorios, y viendo la problemática que hemos venido tratando, con estos conceptos de flujo y transferencia podemos construir estrategias de enseñanza para explicar e ilustrar la física en los cursos introductorios.

Trabajos citados

- 123rf. (20 de Mayo de 2020). *123rf.com*. Obtenido de https://es.123rf.com/photo_88190002_concepto-de-extracci%C3%B3n-y-empuje-para-el-dibujo-conceptual-de-educaci%C3%B3n-que-muestra-al-hombre-tirando-piedr.html
- Alonso, M., & Finn, E. (1967). *Campos y ondas*. Washington, D. C.
- Bird, B., Stewart, W., & Lightfoot, E. (1958). *TRANSPORT PHENOMENA*. Wisconsin.
- Castillo Ayala, J. C. (2004). *El concepto de corriente y la perspectiva dinámica*. Bogotá.
- Castillo Ayala, 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*. Bogotá.
- Correa. (2017). Reflexiones pedagógicas para la enseñanza de la energía a partir del análisis de una experiencia de práctica pedagógica, desde una perspectiva histórico-crítica.
- Herrmann, F. (1984). *Analogy between mechanics and electricity*. Karlsruhe.

- Herrmann, F. (s.f.). <https://www.researchgate.net/>. Recuperado el 1 de Marzo de 2010, de file:///C:/Users/usuario/Downloads/Analogy_between_mechanics_and_electricity%20(1).pdf
- Juenker, D. (1975). *Energía y transporte de momentum en ondas que se propagan en cuerdas*. Vermont.
- Naizaque Aponte, N. C. (2009). *Transporte de momentum por ondas en una cuerda: Paradojas, soluciones y enseñanza*. Bogotá : Universidad pedagógica nacional.
- Otalora. (1989). La controversia vis viva - cantidad de movimiento: hacia una comprensión racional del concepto de energía y su principio de conservación.
- Plawsky, J. (s.f.). *Transport Phenomena Fundamentals*.
- Rico, L. (s.f.). *Análisis conceptual e investigación en didáctica de la matemática*. Recuperado el 12 de Mayo de 2020, de <http://funes.uniandes.edu.co/523/1/RicoL01-2593.PDF>
- Sotelo. (2012). La convertibilidad de los fenómenos: Un camino para acercar a los estudiantes al concepto de energía.
- Tipler. (s.f.). *Tipler, Mosca, Física vol 1. Mecánica, oscilaciones y ondas. Termodinámica. Copyright Freeman and Company 2003*.
- wwwwhatsnew.com. (s.f.). *wwwwhatsnew.com*. Recuperado el 20 de Mayo de 2020, de <https://wwwwhatsnew.com/2020/02/10/se-podria-usar-la-lluvia-como-fuente-de-energia-renovable/>
- youphysics. (20 de Mayo de 2020). *youphysics.education*. Obtenido de <https://www.youphysics.education/es/ecuacion-de-continuidad/>
- YouPhysics. (s.f.). *YouPhysics*. Recuperado el 12 de Mayo de 2020, de <https://www.youphysics.education/es/ecuacion-de-continuidad/>