

DE LOS SÓLIDOS A LOS FLUIDOS

Abud, Daniel Juan Alberto

Cátedra de Mecánica Analítica (Ingeniería Civil). Departamento de Física
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba
Avenida Vélez Sarsfield 1611 (CP 5000) Córdoba. Argentina.

dabud@efn.uncor.edu ; daniel.abud@yahoo.com

RESUMEN

En este trabajo se ponen de manifiesto los contenidos conceptuales de dos asignaturas claves de la Ingeniería Civil: la Mecánica Analítica y la Mecánica de los Fluidos. Este es un artículo de carácter pedagógico-didáctico que pretende crear un hilo conductor entre ambas disciplinas. Por ejemplo, en la Cinemática del Cuerpo Rígido se habla de Campo de Velocidades, y en la Mecánica de los Fluidos también. ¿Son comparables? ¿Se trata de la misma cosa, o no? Se muestran aquí magnitudes físicas de una y otra rama de la Física. Este trabajo muestra, con algunos indicadores analíticos de conceptos, magnitudes y variables de la Física, cómo se pueden crear lazos entre la Mecánica de los Sólidos Rígidos y la Mecánica de los Fluidos.

OBJETIVOS

Establecer relaciones cognitivas comunes entre magnitudes de la Mecánica Analítica y la Mecánica de los Fluidos en la carrera de Ingeniería Civil de nuestra Facultad.

MÉTODO

El método seleccionado es el estándar de comparación de variables de dos disciplinas complementarias. De hecho, ambos espacios curriculares son correlativos en la carrera de Ingeniería Civil, poniendo de relieve en este artículo, las ecuaciones y variables que dan continuidad de una a la otra.

DESARROLLO

El estudio de la mecánica se remonta a los tiempos de Aristóteles y Arquímedes de lo cual fue necesario esperar hasta Newton (1642-1727) para encontrar una formulación satisfactoria de sus principios fundamentales. Estos principios fueron más tarde modificados por D'Alembert, Lagrange y Hamilton. Su validez permaneció sin discusión hasta que Einstein formuló su teoría de la relatividad en el año de 1905.

La Mecánica, en Ingeniería, es una ciencia nexo entre básica y aplicada, con el propósito de explicar los fenómenos físicos y proporcionar las bases físico-matemáticas (ecuaciones y soluciones) para las aplicaciones de la Ingeniería. La Mecánica de los cuerpos rígidos se divide en Estática y Dinámica, las cuales tratan con cuerpos en reposo y con cuerpos que se encuentran en un movimiento, respectivamente. La Mecánica de los Fluidos, también análogamente habla de Hidrostática y de Hidrodinámica, además, se divide en el estudio de los fluidos incompresibles y compresibles. Esta es una rama importante en Ingeniería Civil por el estudio de los fluidos incompresibles en la Hidráulica. Una de las tantas divisiones que se pueden hacer de la Mecánica es la de considerar la Mecánica de los Cuerpos Rígidos; la Mecánica de los Cuerpos Deformables y la Mecánica de los Fluidos. [1], [4], [5], [7], [8]

Comenzaré explicando los conceptos fundamentales y básicos a considerar. Según la RAE, se define *sólido* de la siguiente manera:

“Dicho de un cuerpo: Que, debido a la gran cohesión de sus moléculas, mantiene forma y volumen constantes.” Todos sabemos, y así lo hemos aprendido en la Escuela, que los fluidos se dividen en *líquidos* y *gases*, los fluidos son: *“Se dice de las sustancias en estado líquido o gaseoso.”* Entonces, de la palabra *líquido* podemos leer: *“Dicho de un cuerpo de volumen constante: Cuyas moléculas tienen tan poca cohesión que se adaptan a la forma de la cavidad que las contiene, y tienden siempre a ponerse a nivel.”* Y de los *gases*: *“Fluido que tiende a expandirse indefinidamente y que se caracteriza por su pequeña densidad, como el aire.”*

Si tratamos de unir estas definiciones, para hacer un ejercicio de recapitulación y distinción, el paso de los sólidos a los fluidos debemos enfocarlo desde la cohesión entre las moléculas

que lo forman. En los sólidos, se dan fuertes cohesiones entre las moléculas, que los hacen mantener constantes, en su volumen y su forma. Estas fuerzas son menos importantes en los líquidos, lo que les permite variar de forma, pero manteniendo constante su volumen, mientras que en los gases se hacen prácticamente inexistentes permitiéndoles variar su forma y su volumen. [1], [9]

Los cuatro conceptos básicos utilizados en la mecánica son: MASA – FUERZA – ESPACIO – TIEMPO.

Masa: Esta magnitud escalar se utiliza para dar carácter intrínseco a la materia y comparar los cuerpos. En la Mecánica Clásica no varía.

Fuerza: Esta magnitud vectorial representa la acción de un cuerpo sobre otro cuerpo, puede ser ejercida por contacto físico o distancia. Una fuerza se caracteriza por su punto de aplicación, magnitud y su dirección y se representa por un vector.

Espacio: El espacio se asocia con la noción de la posición de un punto dado. La configuración de dicho punto puede ser definida de diferentes maneras, por ejemplo, por tres longitudes medidas desde un punto de origen (coordenadas).

Tiempo: Duración de las cosas sujetas a mutación. Es la sucesión de instantes del movimiento.

Se trata de comprobar analíticamente cómo se explican los fenómenos de la Mecánica en función de estas magnitudes básicas.

La partícula es una cantidad casi insignificante de materia, que ocupa un solo punto en el espacio. Un sistema de partículas está formado por un gran número de partículas que ocupan posiciones fijas entre sí. Un cuerpo rígido está formado por un gran número de partículas que ocupan posiciones fijas entre sí con fuerte cohesión.

Se denomina **cuerpo rígido** a un sistema material, tal que, para cualquier movimiento mantiene invariante la distancia entre dos puntos arbitrarios del mismo.

Para cualquier par de puntos **P** y **Q**: $(\overline{PQ})^2 = \text{cte.}$ se demuestra que:

$\overline{PQ} \cdot \vec{v}_P = \overline{PQ} \cdot \vec{v}_Q$. Lo que expresa que la proyección de dos puntos cualesquiera sobre la recta que los une, es constante, lo cual es también característico de los *campos de momentos*. [1]

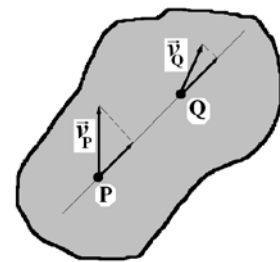


FIGURA 1 – CUERPO RÍGIDO

CAMPO DE VELOCIDADES

Por la perpendicularidad de los vectores \overline{PQ} y $(\vec{v}_P - \vec{v}_Q)$, podemos

expresar: $\vec{v}_P - \vec{v}_Q = \vec{\omega} \times \overline{PQ}$, donde introducimos un cierto vector $\vec{\omega}$, indeterminado. Entonces, nos queda la expresión final de un **campo de velocidades**. La velocidad del punto **Q** es la resultante de la velocidad del punto **P**, más el momento del vector $\vec{\omega}$ aplicado en **P**, respecto a **Q**:

$$\underbrace{\vec{v}_P}_{\text{velocidad del punto } P} = \underbrace{\vec{v}_Q}_{\text{velocidad del punto } Q} + \underbrace{\vec{\omega} \times \overline{PQ}}_{\text{momento de } \omega \text{ resp. a } Q}$$

Se puede comprobar que el vector $\vec{\omega}$ es el mismo en todos los puntos del cuerpo. Por lo tanto, reescribiendo

$$\boxed{\vec{v}_P = \vec{v}_Q + \vec{\omega} \times \overline{PQ}}$$

Esta expresión nos muestra que estamos frente a un **campo de velocidades**, y que, en consecuencia, puede ser tratado el tema análogamente a un campo de momentos. Esta expresión, entonces, se puede leer así: \vec{v}_Q es el **momento resultante en Q** del sistema que admite en el punto **P** a $\vec{\omega}$ como **resultante general**, y a \vec{v}_P como **momento resultante en P**. [1], [4]

MOVIMIENTO GENERAL

Se puede considerar a la velocidad de cada punto del sólido como la resultante de un movimiento de traslación \vec{v}_p , y uno de rotación alrededor de un eje paralelo a $\vec{\omega}$ y que pasa por el punto P , ambos instantáneos: $\vec{v}_p = \vec{v}_Q + \vec{\omega} \times \overline{QP}$. Si el centro de reducción se toma sobre el *eje central*, el movimiento se lo puede considerar compuesto, por uno de rotación alrededor del eje central más una traslación paralela al eje.

En el caso, que el eje permanezca invariable con respecto al tiempo, y la velocidad de traslación paralela al mismo, y ambos de módulo constante, cada punto del cuerpo describe una hélice cilíndrica. Se trata de un movimiento helicoidal. En el caso general, podemos siempre suponer un movimiento helicoidal al cual corresponda el mismo campo de velocidades que el del sistema, en ese instante. (**Movimiento Helicoidal Tangente**).

En los sólidos rígidos, el eje central del campo de velocidades, es decir, el eje del movimiento helicoidal tangente es el eje *instantáneo* de movimiento. Este eje varía con el tiempo y el cuerpo rueda y resbala a lo largo del mismo. Las sucesivas posiciones del eje central determinan una superficie reglada fija en el espacio, y en el cuerpo una superficie reglada móvil. El movimiento se puede definir por el rodar y el resbalar de la segunda sobre la primera. La generatriz común es, en cada instante, el eje central.

En cambio, en los fluidos, las consideraciones deberán ser diferentes. Un fluido es una sustancia que se deforma cuando se somete a una tensión de corte (o cortadura), por muy pequeña que esta sea. Ahora, el campo de velocidades está constituido por una distribución continua de una magnitud vectorial definida mediante una función continua de las coordenadas espacio-temporales. El concepto de campo de velocidad se requiere en el estudio del flujo para evitar identificar cada partícula fluida por un nombre (como se hacía con los sólidos), como se procede cuando se identifica con un subíndice (\vec{v}_p). [1], [4], [5]

A cambio de ese nombre se identificará la partícula fluida por la posición que ocupa en el espacio y el instante en el cual se describe la partícula. Esta forma de referirse a una partícula exige la adopción de un sistema de coordenadas espaciales adecuado, acompañado de un sistema de medición del tiempo. Los sistemas de coordenadas usuales son el cartesiano, el cilíndrico y el de línea. Cuando se describe el campo de velocidades lo que se describe es el valor de la velocidad para la partícula que ocupa un determinado sitio en el espacio, en un instante dado. A esa posición se le otorgan coordenadas espacio-temporales e independientemente del enfoque (Euler o Lagrange) que se adopte, y se puede escribir así: $v = v(x, y, z, t)$. Que por supuesto contendrá las componentes rectangulares correspondientes: $v_x = v_x(x, y, z, t)$; $v_y = v_y(x, y, z, t)$; $v_z = v_z(x, y, z, t)$.

Las funciones escalares para las componentes de velocidad son, en general, diferentes entre sí. Cada componente de la velocidad depende de la posición en el espacio y del instante que se describe. [6]

Existen tres funciones fundamentales en Mecánica la posición, la velocidad y la aceleración. Las tres son funciones vectoriales de variable real. Es decir, son funciones de tres componentes (en el espacio), cada función con una sola variable independiente, que en Mecánica, como ya se sabe, es el tiempo. En cambio, en los sólidos, la velocidad y la posición dependen, en general, solo del tiempo. Posición $r = r(t)$ y Velocidad $v = v(t)$.

Donde las funciones escalares (en forma paramétrica), son funciones vectoriales de variable real, $r_x = r_x(t)$; $v_x = v_x(t)$...

$r_y = r_y(t)$; $v_y = v_y(t)$... $r_z = r_z(t)$; $v_z = v_z(t)$. [1], [6], [9]

La posición en el espacio de un punto cualquiera M está dada por la expresión genérica:

$$M = F(q_1(t), q_2(t), q_3(t))$$

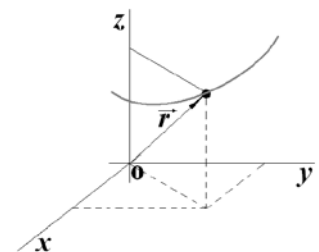


FIGURA 2 – TRAYECTORIA

que, por las reglas de derivación usuales, (derivada de una función compuesta) tendremos la velocidad:

$$\vec{v} = \frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial M}{\partial q_1} \dot{q}_1 + \frac{\partial M}{\partial q_2} \dot{q}_2 + \frac{\partial M}{\partial q_3} \dot{q}_3$$

Siendo q_1, q_2, q_3 parámetros generales e independientes, entonces la expresión anterior nos queda: $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2 + \vec{v}_3$.

La velocidad resultante es la suma de las velocidades que se tendrían si cada parámetro variara independientemente. La aceleración será siempre derivada de la velocidad, ya que representa la variación de la misma: $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$. [1], [4], [5], [7], [8], [9]

Como vemos, existen conceptos comunes a las dos disciplinas. Al ser definidos, no se distingue si se habla de sólidos o de fluidos. Por ejemplo, cuando nos referimos a la Trayectoria, en los sólidos, se define como la curva formada por los sucesivos puntos que va recorriendo la partícula en los diferentes instantes de tiempo. También, ocurre exactamente lo mismo en los fluidos. Es el lugar geométrico de las sucesivas posiciones que recorre el punto cuando se mueve. Son líneas ideales determinadas por el camino que recorre cada partícula en función del tiempo. Grafican los caminos seguidos durante el movimiento de los diferentes elementos de masa del fluido. El vector \vec{v} es también tangente a las mismas.

Las líneas de corriente, tan utilizadas en los fluidos, son líneas ideales tales que los vectores \vec{v} en un instante dado del fluido son tangentes a las mismas. Indican la dirección de las trayectorias instantáneas de las distintas partículas del fluido en un mismo instante. Grafican el campo instantáneo de velocidades. Si el fluido es plano, las líneas de corriente constituyen una familia de curvas planas. [1], [4], [5], [9]

CONCLUSIONES

Se puede observar cómo llegamos a resultados con las variables posición, velocidad y aceleración con las características propias de cada disciplina. Por un lado, la Mecánica del Sólido Rígido y por el otro, la Mecánica de los Fluidos. Tratamientos propios de cada una, pero, con elementos comunes fundamentales para la propedéutica de la Física en las carreras de Ingeniería. Son asignaturas correlativas y así deberán seguir siéndolo. [1]

La conclusión es evidente: existe una relación de causalidad y de correlación entre ambas disciplinas a través de conceptos como campo de velocidad, trayectoria, entre otros que hacen de la Mecánica una rama de la Física que sirve de génesis para otras partes de la Física. Como quedó demostrado, la Mecánica de los Fluidos es un capítulo importante dentro de la Mecánica, que dentro de la carrera de Ingeniería Civil se llama Mecánica Analítica, entonces la delimitación de este espacio curricular debería ser motivo de serias y frecuentes revisiones por parte de los Cuerpos Colegiados de la Facultad, a modo de preguntarse: la asignatura Mecánica de los Fluidos, como espacio curricular dentro del currículo de la carrera de Ingeniería Civil, ¿está bien que quede fuera del Departamento científico-didáctico de Física?

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Abud, D "Manual de Mecánica", Editorial Rojas, Córdoba, (2014).
- [2] Abud, D *Repaso EDO y EDP*, Edit. FCEF y N, UNC. Córdoba, (2010).
- [3] Abud, D. *Aspectos pedagógicos de la Enseñanza de la Física en carreras de Ingeniería*, con el Ing. Maltese et al, Edit. UNC, (1993).
- [4] Bedford; Fowler W. *Mecánica para Ingeniería, Dinámica* Ed. Addison-Wesley, (1996).
- [5] Binia, M.; Abud, D *Mecánica Teórica Ingenierías*, Ed. FCEFyN, UNC. Córdoba, (1998).
- [6] Gigena, S.; Joaquin, D.; Binia, M.; Cabrera, E; Abud, D. *Análisis Matemático II – Teoría, Práctica y Aplicaciones*, Ed. GALEON, Córdoba. (1998).
- [7] Marsicano, F.R. *Mecánica*, UBA, Facultad de Ingeniería, Buenos Aires (1985).
- [8] Meriam, J.L.; Kraige, L.G. *Mecánica para Ingenieros: Dinámica*. Ed. Reverté, (1998).
- [9] Streeter, Wylie, *Mecánica de Fluidos*. 9ª ed. Editorial Mc Graw Hill, (2013).