

Capítulo 1

Introducción

1.1 Motivación

Interesarnos en estudiar el movimiento de los fluidos parece ser obvio y no requerir mayor justificación si consideramos que sin ellos, simplemente no existiríamos. Un alienígena, al observar nuestro planeta desde el espacio exterior lo más probable es que lo llame “Agua” y no “Tierra”, al ver que el 70% de la superficie terrestre está constituido por agua, como se aprecia en la **Figura 1.1**. Pero no es sólo el agua el único fluido que caracteriza nuestro planeta, el extraterrestre también detectaría la presencia de otro fluido, la atmósfera, en el que ocurren fenómenos a gran escala, como los huracanes sobre el Océano Pacífico de la **Figura 1.1**.



Figura 1.1: Vista la Tierra desde el espacio exterior y fenómenos atmosféricos.
http://www.nasa.gov/audience/foreducators/k-4/features/F_Visible_Earth.html
http://veimages.gsfc.nasa.gov/20946/image08092006_md.jpg

La vida requirió de un medio fluido para su desarrollo, y hace unos 4400 millones de años la existencia de una atmósfera gaseosa y las condiciones imperantes facilitaron la formación de compuestos orgánicos. Uno de los resultados de la evolución, el ser humano, está compuesto en un 95% de agua. El diámetro de la Tierra es aproximadamente 12.756 km, pero la parte sólida constituye sólo una cáscara superficial con un espesor entre 8 y 40 km, dependiendo si es en la zona de los océanos o de los continentes. Gran parte del resto está constituido por fluidos con características especiales (altamente viscosos o no-newtonianos y propiedades electromagnéticas), sometido a altas presiones y temperaturas, encontrándose inmediatamente bajo la corteza, el manto, una capa de 2900 km de roca fundida, seguida por el núcleo exterior formado básicamente de hierro fundido y en el centro el núcleo interno, la región de mayor temperatura (similar a la que existe en la superficie del Sol), siendo una esfera sólida de 1220 km de diámetro constituida por hierro y níquel.

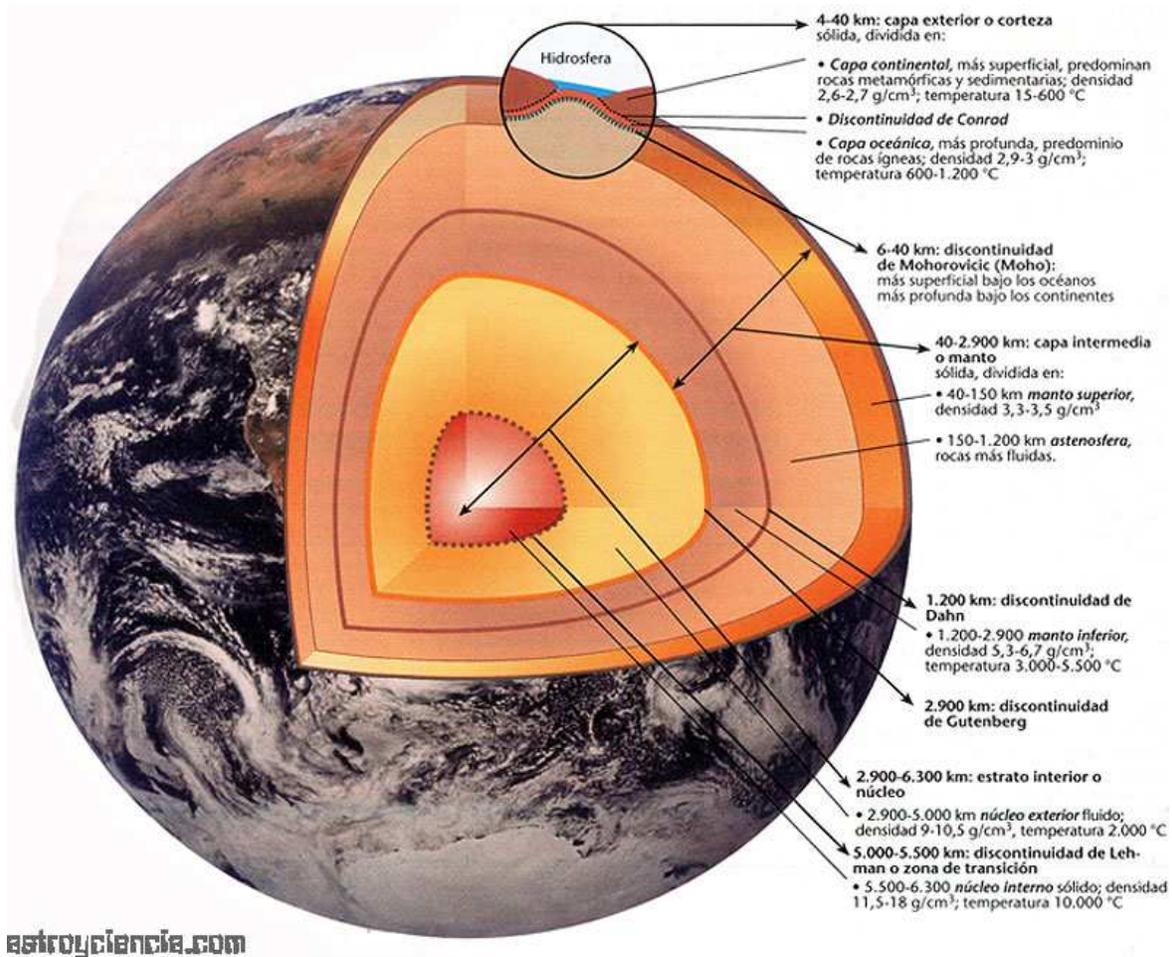


Figura 1.2: Regiones del interior de la Tierra

La historia de la humanidad ha sido moldeada por la acción de los fluidos y la fluidodinámica. Muchos de los procesos que han definido la morfología de la Tierra involucran flujos de agua sobre ella, definiendo una geografía que ha limitado o favorecido los fenómenos de inmigración tanto del hombre como de otros seres vivos, con sus consecuentes efectos en el desarrollo de la civilización. No es coincidencia que casi todas las grandes civilizaciones se hayan desarrollado en torno a grandes ríos: Es así como se asocian inseparablemente a la civilización que se desarrolló en Mesopotamia los ríos Tigris y Éufrates, la civilización egipcia es asociada con el río Nilo, la china con el río Amarillo y la del valle del Indus con el río Indo.

Procesos relacionados con la mecánica de fluidos los encontramos en los fenómenos climáticos y atmosféricos, movimiento de vehículos (trenes, automóviles, barcos, aviones, etc.), medioambiente, fisiología y medicina, deportes y recreación, armamentos, etc.

Evidentemente, el desarrollo de la mecánica de fluidos y la forma en que se presenta en este curso se basa en el método científico. Esto, que puede parecer obvio hoy, es algo relativamente reciente en la historia de la civilización. La forma de explicar los fenómenos naturales ha cambiado a lo largo del tiempo y es así como podemos identificar tres maneras de hacerlo: mediante una mitología de la naturaleza, una filosofía de la naturaleza y, por último, una ciencia de la naturaleza.

En su primera forma de explicar el mundo en que vivía, el ser humano lo hizo mediante la acción divina de seres superiores. En esta etapa, prácticamente todas las civilizaciones antiguas desarrollaron leyendas o mitos asociados al agua. Es así como de acuerdo a quienes inventaron la escritura (los sumerios, ~3500 a.C.) el océano existió primero y de él nacieron el cielo y la tierra. También el relato de la creación de los mayas, registrado en el Popol Vuh, indica que en el comienzo "...estaba el cielo, completamente solo; estaba el mar, completamente solo; no había nada más; ningún sonido, ningún movimiento; solo el cielo y el mar ...". En el periodo correspondiente a la filosofía de la naturaleza, se aplica el riguroso método

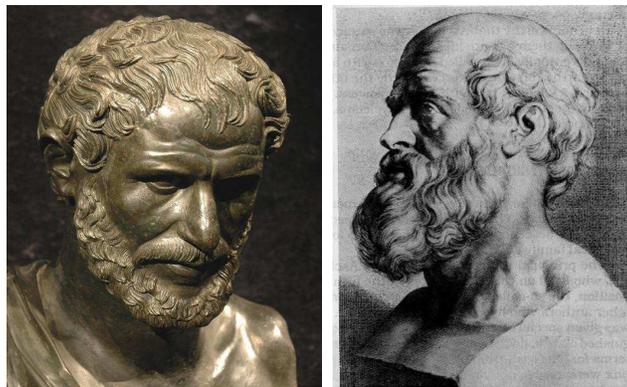


Figura 1.3: Heráclito de Éfeso (estatua romana) e Hipócrates (dibujo de P. P. Rubens)

racional desarrollado por los griegos para interpretar y entender los fluidos y su movimiento. Es en este periodo cuando Heráclito de Éfeso (535 - 484 a.C.) formula su filosofía basada en que “todo fluye” ($\pi\alpha\nu\tau\alpha\ \rho\epsilon\iota$), haciendo analogía al flujo del agua en un río. Hipócrates de Cos ($\sim 460 - 377$ a.C.), considerado el padre de la medicina, escribió “Aires, Aguas y Lugares”, el tratado más antiguo que se conoce donde discute el efecto de las condiciones atmosféricas en la salud¹. La filosofía de Aristóteles (384 - 322 a.C.) dominó el pensamiento de la civilización occidental por casi 1700 años. En su obra “Física”, aborda distintos aspectos de la naturaleza que ahora englobaríamos en lo que son las “ciencias naturales”. En ella aborda el problema del movimiento y su asociación con el espacio, el vacío y el tiempo. Otros libros de Aristóteles son “Del cielo”, “De la meteorología”, “Los lugares de los vientos”, etc.

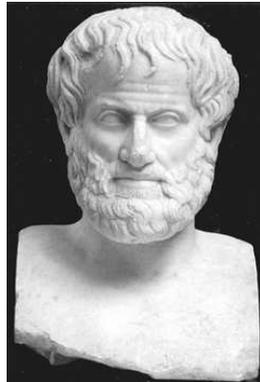


Figura 1.4: Aristóteles

El siglo tercero antes de Cristo tuvo a uno de los genios más grandes de la humanidad: Arquímedes (287 - 212 a.C.), originario de la colonia griega de Siracusa, en la actual Sicilia. La leyenda dice que, estando concentrado en un problema geométrico de círculos, fue muerto por un soldado romano que no lo reconoció, durante el asalto a Siracusa. En el campo de las Matemáticas, aunque abordó todas sus ramas, se dedicó principalmente a la Geometría. Fue precursor del cálculo integral (método de exhaustión). En la Mecánica, se le atribuyen numerosas invenciones, no todas conocidas, entre las que se encuentra la rueda dentada, las leyes de las palancas, etc. Se dice que puso en práctica sus conocimientos

¹En su libro, Hipócrates hace la asociación entre salud y condiciones ambientales. Ya al comienzo de su libro relaciona la salud con la calidad del agua, tema que en la actualidad aborda la ingeniería sanitaria. Resulta interesante leer algunas ideas erradas respecto a las propiedades físicas del agua. Por ejemplo, al final del Capítulo IX propone un experimento, en el que se derrite una cierta cantidad de agua congelada, encontrándose que su volumen ha disminuido. Hipócrates explica la diferencia de volumen del agua en sus estados líquido y sólido porque al congelarse se pierde “las partes más livianas y ligeras” del agua. Al parecer no hizo el experimento inverso, congelar nuevamente la misma cantidad de agua, donde encontraría que el volumen aumentaba nuevamente y se recuperaría “las partes más livianas y ligeras”. *Hippocrates, Vol. I, The Loeb Classical Library, William Heinemann Ltd., London, 1923 (Reprinted 1957), pág. 95.*

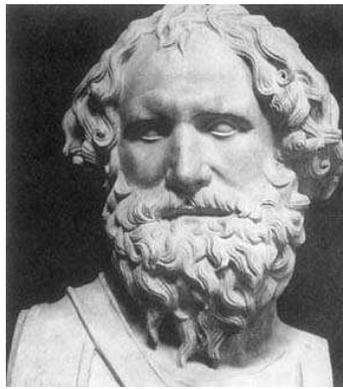


Figura 1.5: Arquímedes

para la defensa de Siracusa y se le atribuye haber destruido embarcaciones romanas concentrando los rayos del Sol en ellas mediante espejos parabólicos, volcándolas mediante garfios accionados por poleas, etc. (**Figura 1.6**). Se le atribuye ser el inventor del tornillo sin

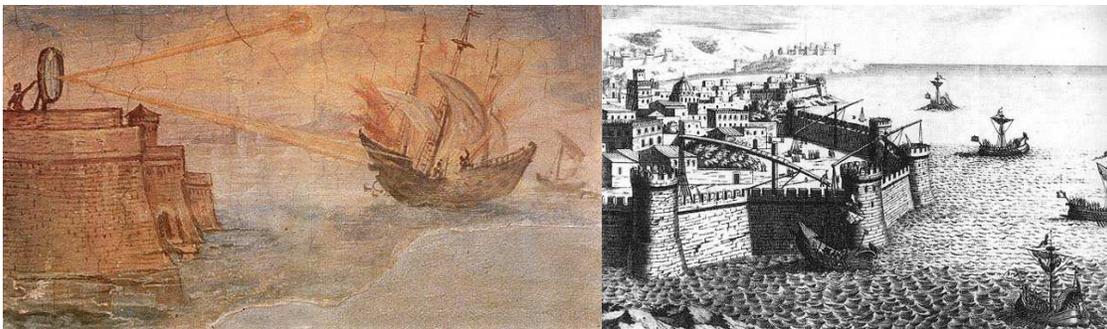


Figura 1.6: Uso de principios físicos usados por Arquímedes en la defensa de Siracusa.

fin (o tornillo de Arquímedes) y usarlo para elevar agua (**Figura 1.7**), aunque es probable que haya tomado la idea de Medio Oriente o Egipto. Sin embargo, su contribución más notable, y que se mantuvo prácticamente como el único desarrollo de la mecánica de fluidos, es el haber formulado y desarrollado la hidrostática, de la cual se derivan, como casos particulares, el principio de Arquímedes (la fuerza vertical ascendente que un líquido ejerce a un cuerpo sumergido es igual al peso del volumen de líquido desplazado), las superficies de igual presión en la Tierra corresponden a sectores de superficies esféricas, etc. La estabilidad de cuerpos flotantes Arquímedes la obtuvo dividiendo las diferentes geometrías en delgadas franjas (¡cálculo integral!), a las que determinaba sus centros de gravedad y carena. El 20

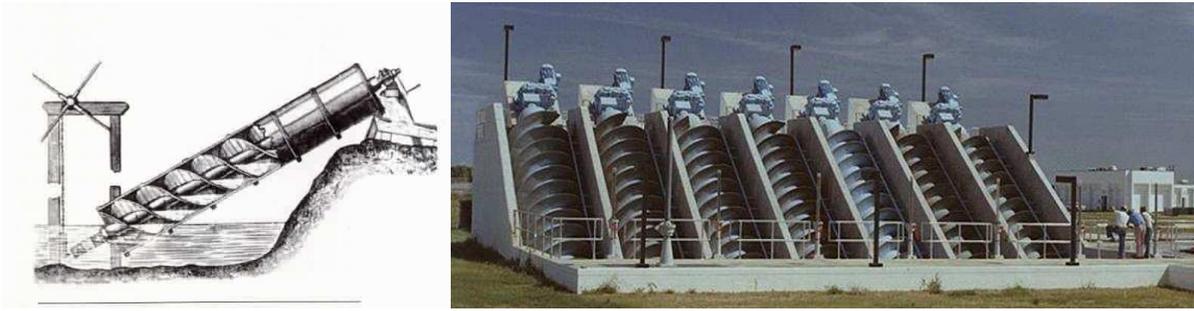


Figura 1.7: Tornillo de Arquímedes. La imagen de la derecha corresponde al sistema de utilizado en una planta de tratamiento de agua en Memphis. La planta de tratamiento de La Farfana emplea un sistema similar, pero se encuentra cubierto, por lo que no se aprecia el tornillo sin fin.

de octubre de 1998 la casa Christies' s de Nueva York remató en dos millones de dólares un palimpsesto bizantino del siglo X, considerado la más antigua y auténtica copia de algunas de las obras de Arquímedes. Contiene un compendio de sus tratados matemáticos e incluye la única copia del tratado sobre el “Método de los teoremas mecánicos”. Este palimpsesto es la única fuente en griego del original del tratado “Sobre los cuerpos flotantes”, en los que Arquímedes explora la física de la flotación y da la demostración formal del principio de empuje (**Figura 1.8**).



Figura 1.8: Manuscrito palimpsesto del siglo X con el tratado “Sobre los cuerpos flotantes” de Arquímedes.

Habrá que esperar hasta el renacimiento para encontrar avances significativos en la mecánica de fluidos. Destaca Leonardo da Vinci (1452-1519) cuyas contribuciones a la

mecánica de fluidos e hidráulica están en su tratado “Del moto e misura dell’acqua” (Del movimiento y medida del agua), y cubre flujos con superficie libre, ondas, vórtices, chorros, etc. Da Vinci es el precursor de la visualización del flujo, para lo cual utilizaba semillas como trazadores y dibujaba su movimiento, determinando los patrones de flujo. (**Figura 1.9**).

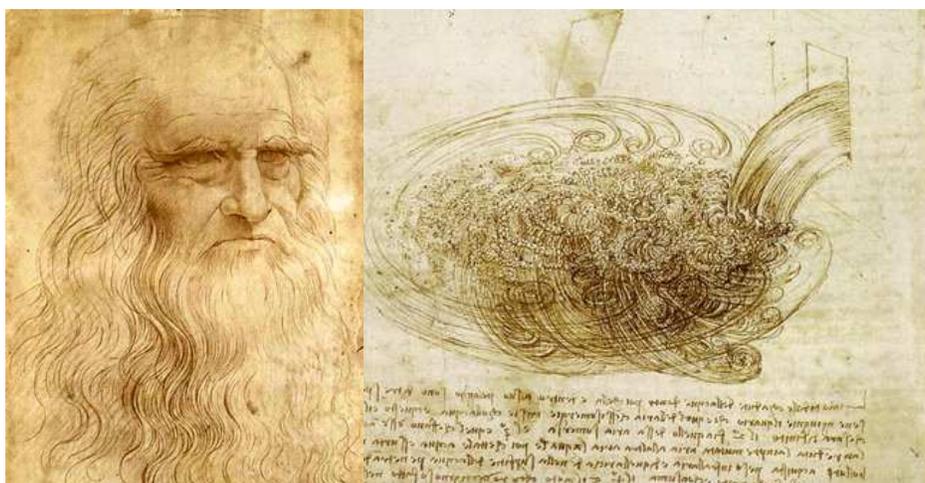


Figura 1.9: Leonardo da Vinci (autorretrato) y página de su tratado sobre el movimiento del agua, con sus vórtices y ondas generadas por obstáculos.

Otros nombres que resaltan en el desarrollo de la mecánica de fluidos y que oiremos a menudo a lo largo del curso son los de Isaac Newton (1643-1727), genio de la talla de Arquímedes, entre cuyos aportes destacan su segunda ley, la que permite describir el movimiento de los fluidos según las fuerzas que actúan, la ley constitutiva para los fluidos, además de sus desarrollos en el cálculo diferencial e integral. También están Daniel Bernoulli (1700-1782), Leonhard Euler (1707-1783, Claude Louis Marie Henry Navier (1785-1836), George Gabriel Stokes (1819-1903), Jean Le Rond d’Alembert (1717-1783), Pierre Simon de Laplace (1749-1785), Jean Louis Marie Poiseuille (1799-1869), John William Rayleigh (1842-1919), Maurice Couette (1858-1943), Osborne Reynolds (1842 -1912), Joseph Valentin Boussinesq (1842 -1929), Ludwig von Prandtl (1875-1953), Geoffrey Ingram Taylor (1886-1975) y muchos otros cuya contribución a la mecánica de fluidos conoceremos este semestre.

Básicamente estudiar la dinámica de los fluidos no es más que la aplicación de los principios de la física (conservación de la materia, segunda ley de Newton, primera de la termodinámica) a los fluidos, los que caracterizaremos como un medio continuo, con ciertas leyes constitutivas específicas que especifican su comportamiento interno cuando son sometidos a fuerzas. Esto lo haremos a lo largo del curso, caracterizando y definiendo primero qué entenderemos por fluido, luego aplicando las leyes de la física a un fluido cuando las partículas que lo constituyen no se encuentran en movimiento relativo (hidrostática), para

luego dedicar la mayor parte del tiempo al movimiento de los fluidos (cinemática y dinámica).

1.2 Definición de un fluido

La definición de la palabra fluido que entrega la Real Academia de la Lengua Española (RAE) es “se dice de las sustancias en estado líquido o gaseoso”, vale decir, un fluido no es un sólido. Afortunadamente, la definición de la palabra sólido que entrega la RAE es algo más útil para los objetivos del curso, definiendo un sólido como “dicho de un cuerpo que, debido a la gran cohesión de sus moléculas, mantiene forma y volumen constantes”. De esta forma, si bien existen algunas diferencias menores, lo que veremos durante este semestre es igualmente válido para analizar y comprender tanto el comportamiento de un gas (aire), como de un líquido (agua); y que una primera diferenciación entre fluidos y sólidos se puede realizar, cualitativamente, a partir de la actividad a nivel molecular en:

Tabla 1: Algunas diferencias cualitativas a nivel molecular entre sólidos y fluidos

	Sólido	Fluido
Espaciamiento entre moléculas	Pequeño	Grande
Fuerzas de cohesión	Grandes	Pequeñas
Movilidad de las moléculas	Pequeña	Grande

Por otro lado, el diccionario Inglés de Oxford define un fluido como una “sustancia líquida o gaseosa que no tiene forma definida y que cede fácilmente ante la acción de fuerzas externas”. Sin considerar momentáneamente la parte de la definición relacionada con la acción de fuerzas externas, definiremos a un fluido como una sustancia líquida o gaseosa que no tiene forma definida, adquiriendo así la forma del recipiente que lo contiene. En caso que no exista un recipiente contenedor, el fluido naturalmente se deforma y fluye o escurre hasta alcanzar una nueva “situación de equilibrio”.

Para poder analizar en detalle cómo se diferencia la respuesta de un fluido y de un sólido ante la acción de fuerzas externas, definiremos primero un volumen de control, V , infinitesimal de dimensiones dx , dy y dz (**Figura 1.10A**). Es así que sobre cada una de las caras de V (caras que llamaremos e , w , n , s , t y b tal y como se definen en la **Figura 1.10B a D**) se identifican dos tipos de fuerzas actuando: fuerzas normales y fuerzas tangenciales. Para poder realizar un análisis que no sea dependiente de las dimensiones del problema, tanto las fuerzas normales como tangenciales actuando sobre las caras de V las expresaremos como fuerzas por unidad de superficie, y que llamaremos esfuerzos normales (n_i) y esfuerzos tangenciales o de corte (τ_{ij}). El sub-índice i toman valores e , w , n , s , t y b mientras que el sub-índice j toma valores de x, y , y z , tal que i indica la cara donde se aplica la fuerza y j indica en cuál dirección se aplica. Por ejemplo, n_e denota al esfuerzo normal a la cara e de V (positivo según x), mientras que τ_{nz} es el esfuerzo tangencial a la cara n que actúa en

la dirección z . El motivo para diferenciar entre esfuerzos normales y tangenciales o de corte es relativamente obvio, esfuerzos normales están directamente relacionados con cambios del volumen total de V (**Figura 1.11A** para el caso de fuerzas de compresión), mientras que los esfuerzos tangenciales se relacionan con deformación angular y/o rotación de V (**Figura 1.11B**).

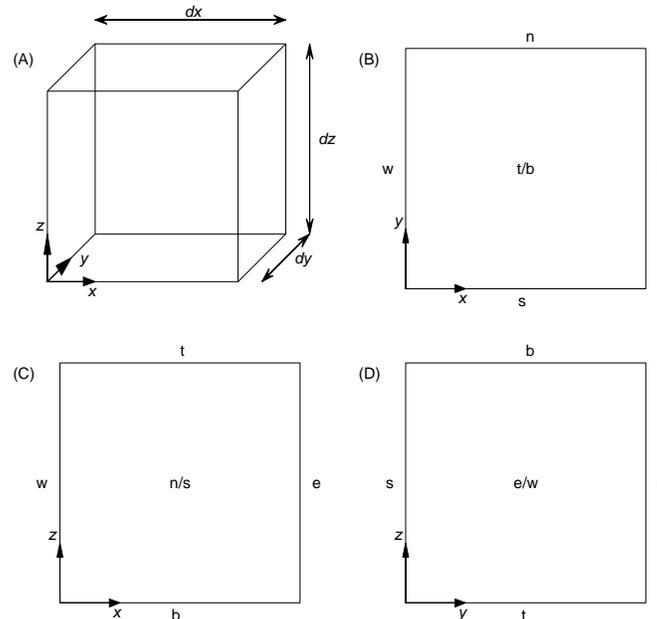


Figura 1.10: Definición de volumen de control V y notación utilizada.

Teniendo en cuenta los conceptos anteriores, diremos que un sólido puede resistir la acción de fuerzas normales tanto de compresión como de tracción, mientras que un fluido sólo es capaz de resistir fuerzas normales de compresión. Intuitivamente, podríamos decir que mientras es posible estirar un material sólido elástico, ello, por el contrario, no es posible en el caso de un fluido. Por ejemplo un gas siempre está comprimido y la presión del gas representa el esfuerzo de compresión, como se discutirá más adelante en el curso. Si se reduce indefinidamente la presión del gas, se llega a una condición de presión nula (asociada a $0^\circ K$ de temperatura tal como veremos en el siguiente capítulo) y a partir de ese punto ya no se puede seguir reduciendo la presión para ejercer tracción. En líquidos, al reducir la presión lo suficiente se produce un cambio de fase a estado gaseoso, de modo que éstos tampoco pueden ser traccionados. Esta diferencia radica en que las moléculas de un sólido se encuentran unidas entre sí, de manera que el movimiento de una molécula en particular induce el movimiento de todas las moléculas de su entorno, tirando y empujando a sus moléculas vecinas. Por el contrario, las moléculas de fluidos se encuentran separadas unas de las otras, y por lo tanto la interacción se reduce solo al caso en que dos moléculas choquen

o se empujen mutuamente.

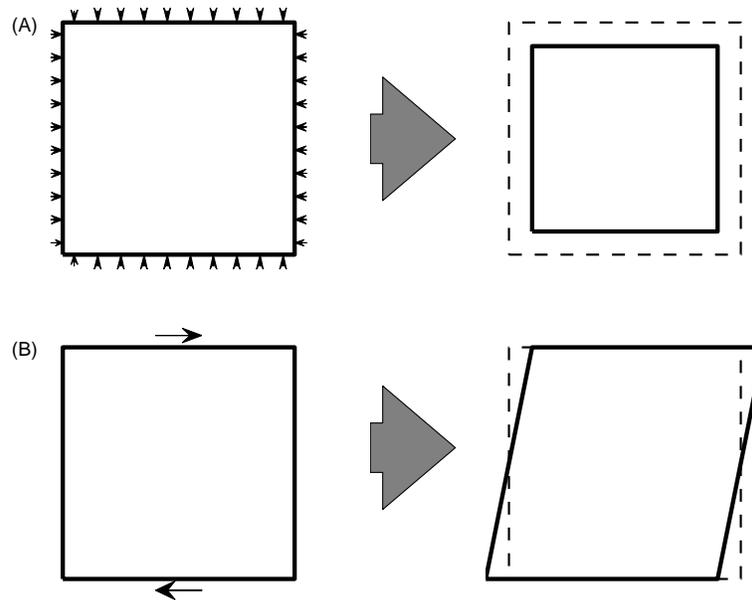


Figura 1.11: Ejemplificación de fuerzas normales (A) y tangenciales (B) actuando sobre un volumen de control V .

Por otro lado, si ejercemos un esfuerzo tangencial, τ , sobre un sólido veremos que para el rango de deformación elástica, la deformación angular de V , γ [-] (**Figura 1.12**), es proporcional a la magnitud del esfuerzo tangencial ($\gamma \sim \tau$); sin embargo, si ejercemos el mismo esfuerzo de corte sobre un fluido, γ varía continuamente en el tiempo. Por ejemplo, consideremos un problema de dos placas paralelas horizontales que se extienden indefinidamente, separadas una de la otra por una distancia ϵ . Si entre ambas placas hay un fluido lubricante (**Figura 1.13**), qué sucede si ejercemos un esfuerzo τ sobre la placa superior, y la placa inferior la dejamos fija?: la placa superficial comienza a desplazarse en respuesta a τ , la placa inferior no se mueve por construcción del problema, y por lo tanto el fluido lubricante debe responder de manera tal de compatibilizar el movimiento relativo de ambas placas. Para esto, introducimos el principio denominado condición de borde de “no resbalamiento”, que dice que moléculas de fluido en contacto con sólidos adquieren la velocidad del sólido. En este caso, las partículas de fluido en $y = 0$ se encuentran en reposo, mientras que el fluido en $y = \epsilon$ se desplaza solidario a la placa superior. Notar que esta condición de borde de no resbalamiento es también válida para las velocidades perpendiculares a las placas, las que son iguales a 0, pero que en dicho caso hablamos de condición de borde de no penetración.

De acuerdo con Newton, es intuitivo pensar que si bien la placa se acelerará en un comienzo, para algún tiempo lo suficientemente grande el fluido ejercerá un esfuerzo igual y

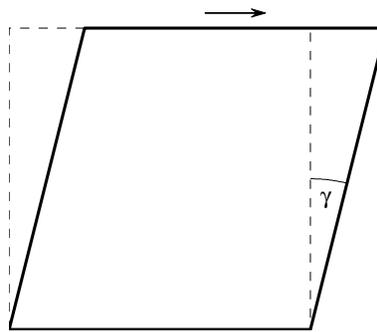


Figura 1.12: Definición de deformación angular producto de acción de un esfuerzo de corte.

contrario a τ , tal que la placa superior se desplaza con velocidad constante $U > 0$. Si consideramos, además, que ϵ es lo suficientemente pequeño y el fluido tiene ciertas características especiales (llamado fluido Newtoniano, como se discutirá en el siguiente capítulo), podemos decir que la velocidad del fluido varía linealmente entre ambas placas, y entonces podemos medir cómo es la deformación angular del volumen de control que en $t = t_o$ era cuadrado con $dx = dy = \epsilon$. Es así que para cualquier tiempo $t > t_o$, vemos que la deformación angular del volumen de control V varía continuamente en el tiempo dado que las esquinas ne y nw se desplazaron una distancia $U(t - t_o)$. En el capítulo siguiente veremos cómo se relacionan entre sí la velocidad de la placa superficial U , el espesor ϵ y las propiedades del fluido (estudio llamado reología: “Estudio de los principios físicos que regulan el movimiento de los fluidos” según la RAE).

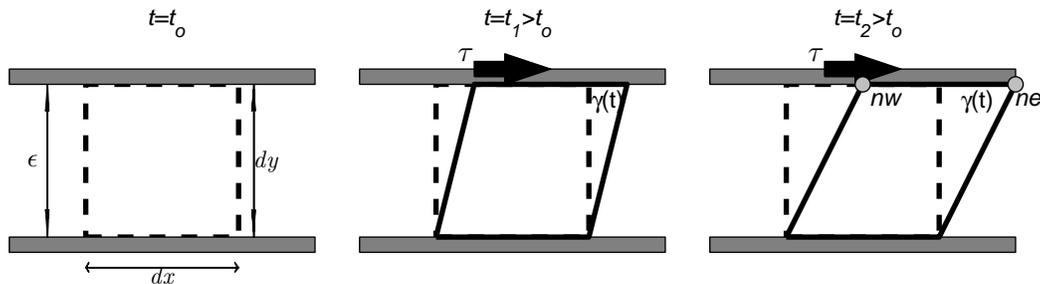


Figura 1.13: Ejemplo para ilustrar evolución temporal de deformación angular de V producto de un esfuerzo de corte τ .

Finalmente, si bien líquidos y gases son fluidos, la principal diferencia que existe entre ambos radica en el modo en que responden ante esfuerzos normales, en particular, al grado

de compresibilidad de V ante la acción de esfuerzos normales. Por un lado consideraremos a los gases como un fluido compresible, mientras que para la mayoría de las aplicaciones de ingeniería, los líquidos pueden considerarse incompresibles. Es importante mencionar que usualmente el ejercicio de medir el grado de compresibilidad de un fluido se centra en analizar su densidad, masa por unidad de volumen, que toma valores característicos de la **Tabla 2**

Tabla 2: Valores característicos de densidad de fluidos.

Fluido	Densidad [kg m^{-3}]
Agua	1000
Aire	1.2
Alcohol	780
Mercurio	13580

1.3 Sistema de Unidades²

1.3.1 Importancia de los sistemas de medición

La modelación de fenómenos físicos requiere efectuar observaciones. Estas consisten en la asignación de valores numéricos a ciertas variables.

Los modelos de fenómenos físicos son relaciones funcionales o expresiones matemáticas donde intervienen estas variables.

Las variables son concretas o dimensionales o bien abstractas o adimensionales.

Las variables concretas tienen asociadas magnitudes y dimensiones. La magnitud depende del sistema de unidades usado.

1.3.2 Algunas definiciones generales

Cantidad en el sentido general: Propiedad asociada a fenómenos, cuerpos o sustancias que pueden ser cuantificadas para ser asignadas a un fenómeno cuerpo o sustancia en particular. Ejemplos: masa y carga eléctrica.

Cantidad en el sentido particular: Propiedad cuantificable o asignable atribuida a un fenómeno, cuerpo o sustancia en particular. Ejemplos: la masa de la luna, la carga eléctrica del protón.

Cantidad física: Es una cantidad que puede ser usada en las ecuaciones matemáticas de la ciencia y la tecnología.

²Sección redactada por Cristian Ihle

Unidad: Es una cantidad física particular, definida y adoptada por convención, con las que otras cantidades particulares del mismo tipo son comparadas con el fin de expresar su valor.

Unidad fundamental: Es aquella unidad que constituye el fundamento del sistema de unidades. Se supone que todas las unidades base son independientes entre sí.

Unidad derivada: Es aquella que puede ser expresada en términos de las unidades base, mediante multiplicaciones y divisiones de las mismas. Ciertas unidades derivadas tienen nombres y símbolos especiales, los que pueden ser usados en combinación con aquellos para las unidades base u otras unidades derivadas.

1.3.3 Aplicación de los sistemas de unidades

Comúnmente los sistemas de unidades se clasifican en dos grupos, según su campo de aplicación:

- (a) Físicos o absolutos
- (b) Técnicos o ingenieriles.

Sistemas físicos: Sus unidades fundamentales son la longitud [L], la masa [M], el tiempo [T] y la temperatura [Θ].

Algunas unidades derivadas comunes son la fuerza [F], el trabajo [W], el esfuerzo [σ], la potencia [P] y la presión [p].

Sistemas técnicos: Sus unidades fundamentales son la longitud [L], la fuerza [F], el tiempo [T] y la temperatura [Θ].

Existen distintas convenciones para nombrar una misma unidad. Las más comunes son los sistemas MKS (metro-kilógramo-segundo), y el sistema inglés (pulgada-libra-segundo). Por otro lado, está el sistema CGS (centímetro-gramo-segundo). El sistema SI es el más ampliamente aceptado en la actualidad.

Las unidades fundamentales del sistema CGS son múltiplos de aquellas del sistema MKS. En este caso se diría que MKS y CGS pertenecen a la misma clase de sistemas de unidades porque ellos difieren solo en su magnitud, pero no en su naturaleza física.

1.3.4 Definiciones de unidades en el sistema SI

Estas definiciones se basan en la Novena conferencia general de pesos y medidas, 1948:

- metro [m]: Es la longitud de la ruta recorrida por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo igual a $1/299.792.458$ de un segundo.
- kilogramo [kg]: Es la unidad de masa. Es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo (Oficina Internacional de Pesos y Medidas, Sévres, Francia).

- segundo [s]: Es la duración de 9.192.631.770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre dos niveles hiperfinos desde el estado base de un átomo de Cesio-133.
- kelvin [°K]: Es una unidad de temperatura termodinámica. Corresponde a la fracción 1/273.16 de la temperatura termodinámica del triple punto del agua.
- ampere [A]: Es la corriente constante que, al ser mantenida entre dos conductores paralelos de largo infinito, de sección circular constante, aislados 1 metro en vacío, producirán entre estos conductores una fuerza igual a 2×10^{-7} Newton por metro de longitud.

Otras unidades base del sistema SI, de menos interés en mecánica de fluidos son el mol y la candela.

1.3.5 Resumen de unidades derivadas

La **Tabla 3** presenta un resumen de las unidades derivadas más comunes.

Tabla 3: Unidades del sistema físico

Variable	Unidad CGS	Unidad SI
Fuerza [F]	dina = gr cm s ⁻²	Newton (N) = kg m s ⁻²
Trabajo [W]	erg = dina cm	Joule (J) = N m
Esfuerzo [σ]	dina cm ⁻²	N m ⁻²
Potencia [P]	erg s ⁻¹	Watt (W) = J s ⁻¹
Presión [p]	dina cm ⁻²	Pascal (Pa) = N m ⁻²

Otras equivalencias importantes:

$$1 \text{ cal} = 4.18674 \text{ J} \quad (1.1)$$

$$1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J} \quad (1.2)$$

Para las unidades técnicas se deriva unidades de fuerza de la siguiente forma:

$$1 \text{ gr peso } (\vec{g}\vec{r}) = 1\vec{g} \times \text{gr} = 980 \text{ gr cm s}^{-2} = 980 \text{ dina} \quad (1.3)$$

$$1 \text{ kg peso } (\vec{kg}) = 1\vec{g} \times \text{kg} = 9.8 \text{ kg m s}^2 = 9.8 \text{ N} \quad (1.4)$$

Por otro lado,

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ N ms}^{-1} = 1 \times 1000 \text{ gr} \times 100\text{cm s}^{-1} = 10^7 \text{ erg s}^{-1} \quad (1.5)$$

Tabla 4: Unidades del sistema técnico

Variable	Unidad MKS
Masa [M]	1 UTM = 1 $\vec{kg} \ s^2 m^{-1}$
Trabajo [W]	$\vec{kg} \ m$
Potencia [P]	$\vec{kg} \ m \ s^{-1}$

Nota: $1UTM = \vec{kg} \ s^2 m^{-1} = 9.8 \ N \ s^2 \ m = 9.8 \ kg$

En la **Tabla 4** se presentan las unidades del sistema técnico.

Un concepto que debe tenerse en cuenta en el trabajo con magnitudes dimensionales es el de homogeneidad dimensional de las ecuaciones de la física. Las ecuaciones que modelan fenómenos físicos deben ser dimensionalmente homogéneas, es decir, las dimensiones de ambos miembros de la ecuación deben ser las mismas.

1.3.6 Algunas recomendaciones de uso del sistema SI

Se debe escribir las unidades SI en letras no cursivas, en minúsculas, a menos que provengan de un nombre propio. Por ejemplo, kg, J (viene de Joule), s, W (viene de Watt).

Los símbolos no se alteran al ser usados en plural. Por ejemplo, 1m, 10m. Las unidades SI no deben ser seguidas por un punto, (a menos que sea necesario un punto seguido o aparte).