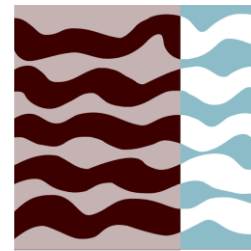


# Fluidos

Ingeniería agrónoma grado en  
hortofruticultura y jardinería



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



**ETSIA**  
Cartagena

Jorge Cerezo Martínez



# Índice

1. Prólogo.....	3
2. Mecánica de los medios continuos.....	4
2.1. Introducción.....	4
2.2. Límites de aplicabilidad.....	4
3. Tensión mecánica.....	5
4. ¿Qué es un fluido? .....	5-6
4.1. Características.....	5
4.2. Propiedades.....	6
4.3. Movimiento.....	6
5. Principales teorías de fluidos.....	6-12
5.1. Arquímedes.....	6-7
5.1.1. Principio de Arquímedes.....	7
5.1.2. Anécdotas.....	7
5.2. Evangelista Torricelli.....	8
5.2.1. Teorema de Torricelli.....	8
5.3. Blaise Pascal.....	9
5.3.1. Contribución a la física.....	9
5.3.2. Principio de Pascal.....	10
5.3.3. Prensa hidráulica.....	10
5.4. Daniel Bernoulli.....	11
5.4.1. Principio de Bernoulli.....	11-12
6. Fluidos misteriosos.....	12-14
6.1. El flogisto.....	12
6.2. El éter.....	13
6.2.1. Refutación de la existencia del éter.....	13
6.2.2. Nuevas perspectivas.....	13
6.3. El calórico.....	14
7. Conclusión.....	14
8. Bibliografía y referencias.....	15

## 1. Prólogo

He de reconocer que al principio me resultó arduo y complejo abordar esta rama de la física, sobre todo, por la amplitud y la falta de instrucción más profunda sobre fluidos.

Otro de los grandes impedimentos para su desarrollo fue la falta de disponibilidad de tiempo que parece ser últimamente una constante en mi vida, quizá por la cantidad de inquietudes que tengo, en su mayoría de conocimiento teórico y de la técnica, pero indudablemente por mi dedicación a las matemáticas, más concretamente al Cálculo I.

Aunque me impidió la dedicación plena al trabajo, no fue, para nada, contraproducente. El conocimiento matemático me acercó al cálculo infinitesimal y a las historias de los matemáticos que en buena parte influyeron al desarrollo del campo de los fluidos.

He procurado un desarrollo gradual de los conceptos en mi trabajo a fin de crear una sólida estructura de entendimiento, tal que los conceptos superiores requieran de los anteriores para su comprensión. Tampoco he querido atiborrar de fórmulas y excesiva información para que sea ameno en su lectura.

Una vez concluido el apartado en el que quedan recogidos, para mi gusto, los 4 padres de los fluidos, he gustado de incorporar una sección dedicada a algunos fluidos que han llamado mi atención.

He lamentado tremendamente el suprimir una de las secciones en que incorporé a mi borrador, dedicado a los geles y al plasma, tema que ha llegado a fascinarme por completo y, aunque, como dije, no me ha sido posible acabarlo y presentarlo, estoy complacido por haber descubierto este asombroso tema que a buen seguro será un nuevo proyecto para profundizar.

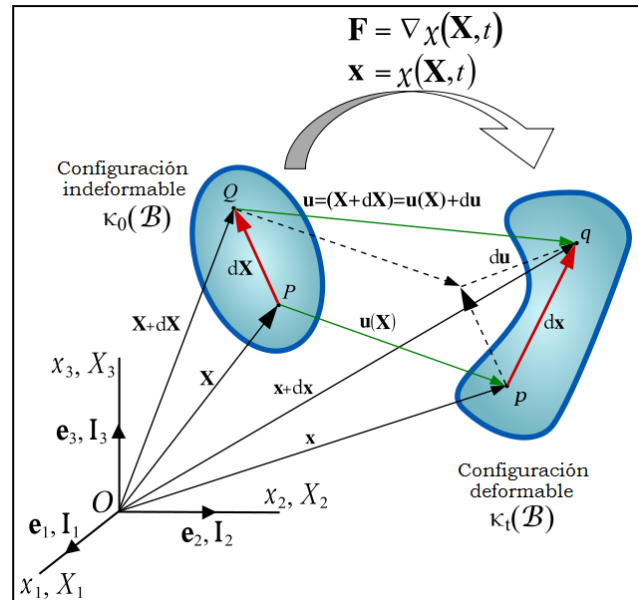
## 2. Mecánica de medios continuos

La MMC es una rama de la física (específicamente de la mecánica) que propone un modelo unificado para sólidos deformables, sólidos rígidos y fluidos. Físicamente los fluidos se clasifican en líquidos y gases. El término medio continuo se usa tanto para designar un modelo matemático, como cualquier porción de material cuyo comportamiento se puede describir adecuadamente por ese modelo

### 2.1. Introducción

Un medio continuo se concibe como una porción de materia formada por un conjunto infinito de partículas (que forman parte, por ejemplo, de un sólido, de un fluido o de un gas) que va a ser estudiado macroscópicamente, es decir, sin considerar las posibles discontinuidades existentes en el nivel microscópico (nivel atómico o molecular). En consecuencia, en el tratamiento matemático ideal de un medio continuo se admite usualmente que no hay discontinuidades entre las partículas y que la descripción matemática de este medio y de sus propiedades se puede realizar mediante funciones continuas. Existen tres grandes grupos de medios continuos:

- Mecánica del sólido rígido
- Mecánica de sólidos deformables.
- Mecánica de fluidos, que distingue a su vez entre:
  - Fluidos compresibles.
  - Fluidos incompresibles.



Descripción matemática de la deformación de un medio continuo.

### 2.2. Límites de aplicabilidad

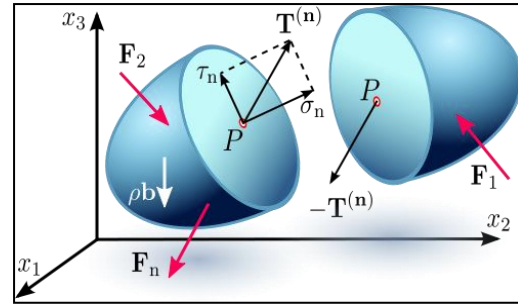
Aunque la mecánica de medios continuos es un modelo que permite investigar las propiedades de sólidos deformables y fluidos con gran precisión, hay que recordar que a escalas muy pequeñas la materia está hecha de átomos. Y esa naturaleza atómica de la materia da lugar a cierto tipo de microestructura heterogénea que viola alguno de los principios de la mecánica de medios continuos. Sin embargo, pese a esta dificultad, la mecánica de medios continuos es una aproximación válida en la mayoría de situaciones macroscópicas en las que la microestructura asociada a la naturaleza atómica de la materia puede ser ignorada (en los fluidos, el número de Knudsen se usa para determinar hasta qué punto la hipótesis de continuidad del medio es adecuada).

Mecánica de medios continuos	Mecánica de sólidos deformables: La mecánica de sólidos deformables es la rama de la física que trata de medios continuos que tienen una forma definida no determinada enteramente por el recipiente o conjunto de constricciones sobre la superficie del sólido.	Elasticidad: describe los materiales que recuperan su forma si se retiran las fuerzas causantes de la deformación.	Reología: Dado que algunos materiales presentan viscoelasticidad (una combinación de comportamiento elástico y viscoso), la distinción entre la mecánica de sólidos y la mecánica de fluidos es difusa.
	Mecánica de fluidos (incluyendo hidrostática e hidrodinámica): trata de la física de fluidos. Una propiedad importante de los fluidos es su viscosidad, que es una fuerza interna generada por un fluido que se opone al movimiento del mismo.	Plasticidad: describe los materiales que sufren deformaciones permanentes y no recuperables tras la aplicación de fuerzas suficientemente grandes.	
		Fluido no-newtoniano	
		Fluido newtoniano	

### 3. Tensión mecánica

Se denomina tensión mecánica a la fuerza por unidad de área en el entorno de un punto material sobre una superficie real o imaginaria de un medio continuo. La definición que se aplica tanto a fuerzas localizadas como fuerzas distribuidas, uniformemente o no, que actúan sobre una superficie.

Si se considera un cuerpo sometido a un sistema de fuerzas y momentos de fuerza, se puede observar la acción de las tensiones mecánicas si se imagina un corte mediante un plano imaginario  $\pi$  que divida el cuerpo en dos partes. Para que cada parte estuviera en equilibrio mecánico, sobre la superficie de corte de cada una de las partes debería restablecerse la interacción que ejercía la otra parte del cuerpo. Así, sobre cada elemento de la superficie ( $dS$ ), debe actuar una fuerza elemental ( $dF$ ), a partir de la cual se define un vector tensión ( $\mathbf{t}_\pi$ ) como el resultado de dividir dicha fuerza elemental entre la superficie del elemento.

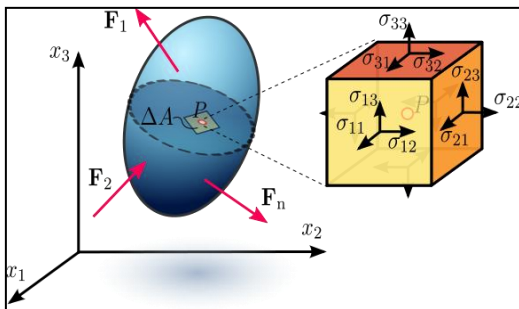


Vector tensión en una superficie interna  $S$  con vector unitario normal  $\mathbf{n}$ . Dependiendo de la orientación del plano en cuestión, el vector tensión puede no ser necesariamente perpendicular a ese plano, es decir, paralelo a  $\mathbf{n}$ , y puede descomponerse en dos vectores: un componente normal al plano, llamado tensión normal  $\sigma_n$ , y otro componente paralelo al plano, denominado tensión cortante  $\tau$ .

$$\mathbf{t}_\pi = \frac{d\mathbf{F}}{dA}$$

Este vector tensión depende del estado tensional interno del cuerpo, de las coordenadas del punto escogido y del vector unitario normal al plano  $\pi$  ( $\mathbf{n}_\pi$ ). Se puede probar que  $\mathbf{t}_\pi$  y  $\mathbf{n}_\pi$  están relacionados por una aplicación lineal  $\mathbf{T}$  o campo tensorial llamado tensor tensión:

$$\mathbf{t}_\pi = \mathbf{T}(\mathbf{n}_\pi)$$



Componentes del tensor tensión en un punto  $P$  de un sólido deformable.

### 4. ¿Qué es un fluido?

Un fluido es una sustancia o medio continuo que se deforma continuamente en el tiempo ante la aplicación de una sollicitación o tensión tangencial sin importar la magnitud de ésta.



Gran parte del universo está hecho de fluido, incluyendo las atmósferas planetarias, los océanos, estrellas, y nubes interestelares.

#### 4.1. Características

- La posición relativa de sus moléculas puede cambiar de forma abrupta.
- Todos los fluidos son compresibles en cierto grado.
- Tienen viscosidad, aunque en los gases es mucho menor que en los líquidos.

## 4.2. Propiedades

Las propiedades de un fluido son las que definen el comportamiento y características del mismo tanto en reposo como en movimiento. Existen propiedades primarias y propiedades secundarias del fluido.

### Propiedades primarias

- Presión
- Densidad
- Temperatura
- Energía interna
- Entalpía
- Entropía
- Calores específicos
- Viscosidad

### Propiedades secundarias

- Viscosidad
- Conductividad térmica
- Tensión superficial
- Compresión

\*Caracterizan el comportamiento específico de los fluidos

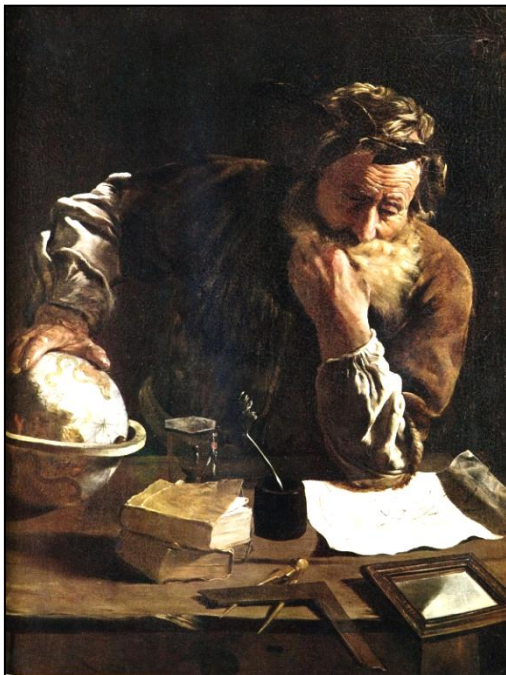
## 4.3. Movimiento

Aunque en verdad los fluidos no se mueven. De esta forma, las variables de estado del material, tales como la presión, la densidad y la velocidad podrán ser consideradas como funciones continuas del espacio y del tiempo, conduciendo naturalmente a la descripción del material como un medio continuo.

Al dividir la longitud del recorrido libre promedio de las moléculas por la longitud característica del sistema, se obtiene un número adimensional denominado número de Knudsen. Calculando el número de Knudsen es fácil saber cuándo puede describirse el comportamiento de líquidos y gases mediante las ecuaciones de la dinámica de los fluidos. En efecto, si el número de Knudsen es menor a la unidad, la hipótesis del continuo podrá ser aplicada; si el número de Knudsen es similar a la unidad o mayor, deberá recurrirse a las ecuaciones de la mecánica estadística para describir el comportamiento del sistema. Es por ello que la región de números de Knudsen cercanos o mayores a la unidad se denomina también región de gases rarificados.

## 5. Principales teorías de fluidos

### 5.1. Arquímedes

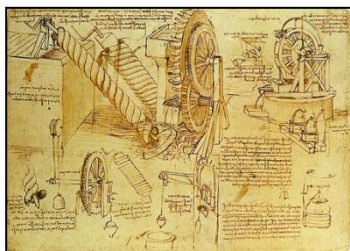


#### **Arquímedes de Siracusa 287 a. C. † 212 a. C.**

Fue un matemático griego, físico, ingeniero, inventor y astrónomo. Es considerado uno de los científicos más importantes de la antigüedad clásica. Entre sus avances en física se encuentran sus fundamentos en hidrostática, estática. Es reconocido por haber diseñado innovadoras máquinas, incluyendo armas de asedio y el tornillo de Arquímedes. Experimentos modernos han probado las afirmaciones de que Arquímedes llegó a diseñar máquinas capaces de sacar barcos enemigos del agua o prenderles fuego utilizando una serie de espejos.

Se considera que Arquímedes fue uno de los matemáticos más grandes de la antigüedad y, en general, de toda la historia.

Arquímedes murió durante el sitio de Siracusa (214–212 a. C.), cuando fue asesinado por un soldado romano, a pesar de que existían órdenes de que no se le hiciese ningún daño.



Fragmento de pergamino con explicaciones de Arquímedes sobre el tornillo con su mismo nombre

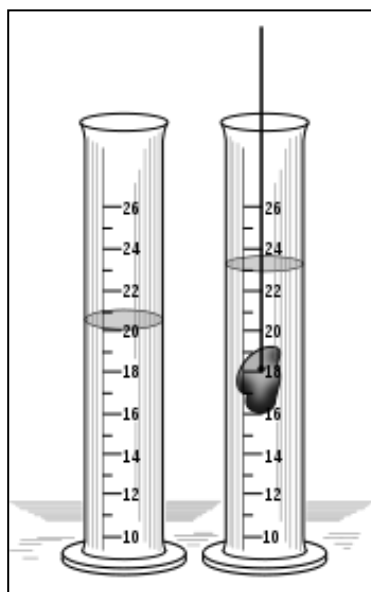
A diferencia de sus inventos, los escritos matemáticos de Arquímedes no fueron muy conocidos en la antigüedad. Los matemáticos de Alejandría lo leyeron y lo citaron, pero la primera compilación integral de su obra no fue realizada hasta c. 530 d. C. por Isidoro de Mileto. Las relativamente pocas copias de trabajos escritos de Arquímedes que sobrevivieron a través de la Edad Media fueron una importante fuente de ideas durante el Renacimiento, mientras que el descubrimiento en 1906 de trabajos desconocidos de Arquímedes en el Palimpsesto de Arquímedes ha ayudado a comprender cómo obtuvo sus resultados matemáticos.

### 5.1.1. Principio de Arquímedes

El principio de Arquímedes es un principio físico que afirma que: Un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo, recibe un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volumen del fluido que desaloja. Esta fuerza recibe el nombre de empuje hidrostático o de Arquímedes, y se mide en newtons (en el SI). El principio de Arquímedes se formula así:

$$E = m \cdot g = \rho_f \cdot g \cdot V$$

Donde **E** es el empuje,  $\rho_f$  es la densidad del fluido, **V** el «volumen de fluido desplazado» por algún cuerpo sumergido parcial o totalmente en el mismo, **g** la aceleración de la gravedad y **m** la masa, de este modo, el empuje depende de la densidad del fluido, del volumen del cuerpo y de la gravedad existente en ese lugar. El empuje (En condiciones normales y descrito de modo simplificado) actúa verticalmente hacia arriba y está aplicado en el centro de gravedad del fluido desalojado por el cuerpo; este punto recibe el nombre de centro de carena.



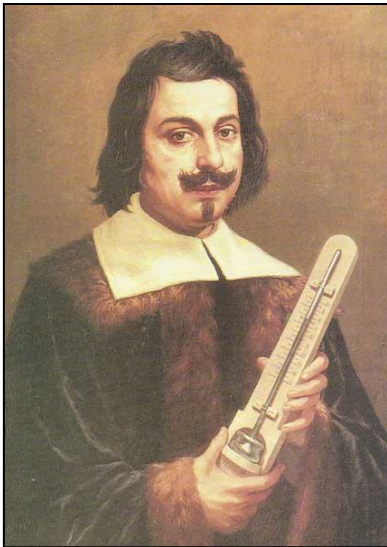
### 5.1.2. Anécdotas



La anécdota más conocida sobre Arquímedes, cuenta cómo inventó un método para determinar el volumen de un objeto con una forma irregular. Según Vitruvio, una corona con forma de corona triunfal había sido fabricada para Hierón II, tirano gobernador de Siracusa, el cual le pidió a Arquímedes determinar si la corona

estaba hecha de oro sólido o si un orfebre deshonesto le había agregado plata. Arquímedes tenía que resolver el problema sin dañar la corona, así que no podía fundirla y convertirla en un cuerpo regular para calcular su densidad. Mientras tomaba un baño, notó que el nivel de agua subía en la tina cuando entraba, y así se dio cuenta de que ese efecto podría usarse para determinar el volumen de la corona. La corona, al ser sumergida, desplazaría una cantidad de agua igual a su propio volumen. Al dividir la masa de la corona por el volumen de agua desplazada, se podría obtener la densidad de la corona. La densidad de la corona sería menor si otros metales menos densos hubieran sido añadidos. Arquímedes salió corriendo desnudo por las calles, tan emocionado estaba por su descubrimiento para recordar vestirse, gritando "¡Eureka!" (En griego antiguo: "εὕρηκα" que significa "¡Lo he encontrado!") .

## 5.2. Evangelista Torricelli



Evangelista Torricelli sujetando su novedoso invento, el barómetro.

**Evangelista Torricelli; Faenza, 15 de octubre 1608 † Florencia, 25 de octubre 1647** Fue un físico y matemático italiano. Huérfano a temprana edad, por lo que fue educado bajo la tutela de su tío, Jacobo Torricelli, un fraile camaldulense que le enseñó humanidades. En 1627 fue enviado a Roma para que estudiara ciencias con el benedictino Benedetto Castelli de 1579 a 1645, llamado por Urbano VII para enseñar matemáticas en el colegio de Sapienza y uno de los primeros discípulos de Galileo. En 1643 realizó el descubrimiento que lo haría pasar a la posteridad: el principio del barómetro, que demostraba la existencia de la presión atmosférica, principio confirmado posteriormente por Pascal realizando mediciones a distinta altura. Aunque el mencionado experimento ha pasado a la historia por la importancia del barómetro y de la medida de la presión atmosférica, la motivación inicial tanto de Torricelli como de Pascal para realizar este experimento fue refutar la teoría aristotélica de que "la naturaleza tiene horror al vacío". La unidad de presión torr se nombró en su memoria. Enunció, además, el teorema de Torricelli, de importancia fundamental en hidráulica.

### 5.2.1. Teorema de Torricelli

El **teorema de Torricelli** es una aplicación del principio de Bernoulli y estudia el flujo de un líquido contenido en un recipiente, a través de un pequeño orificio, bajo la acción de la gravedad. A partir del teorema de Torricelli se puede calcular el caudal de salida de un líquido por un orificio. La velocidad de un líquido en una vasija abierta, por un orificio, es la que tendría un cuerpo cualquiera, cayendo libremente en el vacío desde el nivel del líquido hasta el centro de gravedad del orificio:

$$V_t = \sqrt{2 \cdot g \cdot \left( h + \frac{v_0^2}{2 \cdot g} \right)}$$

Donde:

- $V_t$  es la velocidad teórica del líquido a la salida del orificio
- $v_0$  es la velocidad de aproximación.
- $h$  es la distancia desde la superficie del líquido al centro del orificio.
- $g$  es la aceleración de la gravedad

Para velocidades de aproximación bajas, la mayoría de los casos, la expresión anterior se transforma en:

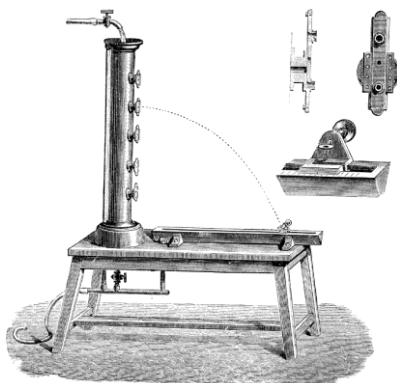
$$V_r = C_v \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Donde:

- $V_r$  es la velocidad real media del líquido a la salida del orificio
- $C_v$  es el coeficiente de velocidad. Para cálculos preliminares en aberturas de pared delgada puede admitirse 0,95 en el caso más desfavorable.

Tomando  $C_v = 1$

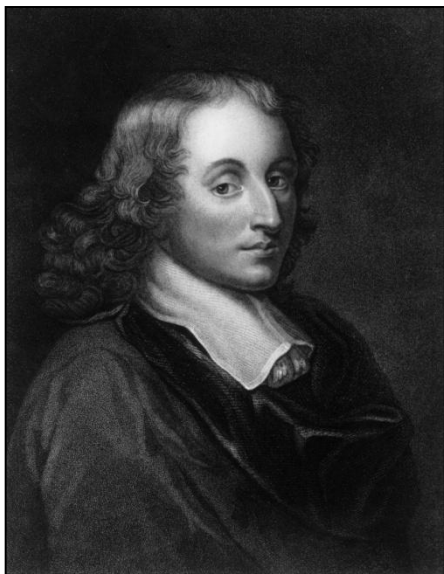
$$V_r = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$



Experimentalmente se ha comprobado que la velocidad media de un chorro de un orificio de pared delgada, es un poco menor que la ideal, debido a la viscosidad del fluido y otros factores tales como la tensión superficial, de ahí el significado de este coeficiente de velocidad.



### 5.3. Blaise Pascal



**Blaise Pascal Auvernia, Francia, 19 de junio de 1623 † París, 19 de agosto de 1662** fue un matemático, físico, filósofo y teólogo francés, considerado el padre de las computadoras junto con Charles Babbage. Fue un niño prodigio, educado por su padre, un juez local. Sus primeros trabajos abarcan las ciencias naturales y aplicadas, donde realizó importantes contribuciones para la invención y construcción de calculadoras

mecánicas, estudios de la teoría matemática de probabilidad, investigaciones sobre los fluidos y la aclaración de conceptos tales como la presión y el vacío, generalizando la obra de Evangelista Torricelli.

Pascal fue un matemático de primer orden. Ayudó a crear dos grandes áreas de investigación, escribió importantes tratados sobre geometría proyectiva a los dieciséis años, y más tarde cruzó correspondencia con Pierre de Fermat sobre teoría de la probabilidad, influenciando fuertemente el desarrollo de las modernas ciencias económicas y sociales. Siguiendo con el trabajo de Galileo y de Torricelli, en 1646 refutó las teorías aristotélicas que insistían en que la naturaleza aborrece el vacío, y sus resultados causaron grandes discusiones antes de ser generalmente aceptados.

En 1646 su familia se convirtió al jansenismo, y su padre murió en 1651. Sin embargo, tras una profunda experiencia religiosa en el año 1654, Pascal sufrió una "segunda conversión". Abandonó las matemáticas y la física para dedicarse a la filosofía y a la teología, publicando en este periodo sus dos obras más conocidas: *Las Lettres provinciales* y *Pensées*. Ese año también escribió un importante tratado sobre el triángulo aritmético. Entre 1658 y 1659 escribió sobre la cicloide y su uso en el cálculo del volumen de los sólidos.

Pascal tuvo una salud muy endeble a lo largo de toda su vida, y su muerte acaeció dos meses después de haber cumplido 39 años.

#### 5.3.1. Contribución a la física

Pascal trabajó en los campos de estudio de líquidos (hidrodinámica e hidrostática), centrándose en los principios de fluidos hidráulicos. Entre sus invenciones se incluye la prensa hidráulica y la jeringuilla. En el año 1646, Pascal ya conocía los experimentos de Evangelista Torricelli con barómetros. Tras replicar la creación de un barómetro de mercurio, Pascal comenzó a cuestionarse qué fuerza era la que hacía que parte del mercurio se quedase dentro del tubo y qué era lo que llenaba el espacio por encima del mercurio hasta el final del tubo. Por aquella época, la mayoría de los científicos consideraban que existía algún tipo de materia invisible, en lugar de simplemente el vacío, pensamiento basado en la noción aristotélica de que la creación es algo con substancia. La noción del vacío como tal era una imposibilidad bajo las concepciones de la época.

Sin embargo, y tras una serie de trabajos experimentales en esta línea, en 1647 Pascal publicó *Experiences nouvelles touchant le vide*, en donde detallaba una serie de reglas básicas que describían hasta qué punto varios líquidos podían estar soportados por la presión del aire. También ofrecía razones por las que lo que había por encima de la columna de líquido era realmente un vacío.

El 19 de septiembre de 1648, tras muchos meses de preparación, Pascal realizó junto con Florin Périer, el marido de la hermana mayor de

Pascal, el experimento esencial para la teoría de Pascal.



Prototipo de la jeringuilla de Pascal

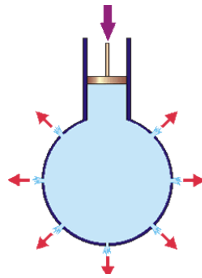
### 5.3.2. Principio de Pascal

El principio de Pascal puede ser interpretado como una consecuencia de la ecuación fundamental de la hidrostática y del carácter altamente incompresible de los líquidos. En esta clase de fluidos la densidad es prácticamente constante, de modo que de acuerdo con la ecuación:

$$p = p_0 + \rho gh$$

Donde:

- $p$ , presión total a la profundidad.
- $p_0$ , presión sobre la superficie libre del fluido.
- $\rho$ , densidad del fluido.
- $g$ , aceleración de la gravedad.
- $h$ , Altura, medida en Metros.



El principio de Pascal puede comprobarse utilizando una esfera hueca, perforada en diferentes lugares y provista de un émbolo. Al llenar la esfera con agua y ejercer presión sobre ella mediante el émbolo, se observa que el agua sale por todos los agujeros con la misma velocidad y por lo tanto con la misma presión.

### 5.3.3. Prensa hidráulica

Una prensa hidráulica es un mecanismo conformado por vasos comunicantes impulsados por pistones de diferente área que, mediante pequeñas fuerzas, permite obtener otras mayores.

Cuando se aplica una fuerza  $F_1$  sobre el émbolo de menor área  $A_1$  se genera una presión  $p_1$ :

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

Del mismo modo en el segundo émbolo:

$$p_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

Se observa que el líquido está comunicado, luego por el principio de Pascal, la presión en los dos pistones es la misma, por tanto se cumple que  $p_1 = p_2$ .

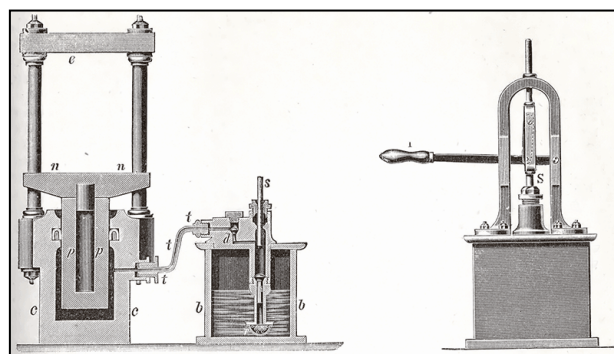
$$p_1 = p_2$$

Por tanto

Luego la fuerza resultante de la prensa hidráulica es:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \text{ y la relación de fuerzas: } \frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}$$

$$F_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1}$$



Prensa hidráulica diseñada por Blaise Pascal

## 5.4. Daniel Bernoulli



**Daniel Bernoulli Groning, Holanda 8 de febrero de 1700 † Basilea, Suiza 17 de marzo de 1782.** Fue un matemático, estadístico, físico y médico. Destacó no sólo en matemática pura, sino también en las aplicadas. Hizo importantes contribuciones en hidrodinámica y elasticidad.

Daniel Bernoulli era hijo del matemático Johann Bernoulli. En 1705, su padre obtiene una plaza en la Universidad de Basilea y la familia regresa a la ciudad suiza de donde era originaria.

Por deseo de su padre realizó estudios de medicina en la Universidad de Basilea, mientras que a la vez, en su casa, su hermano mayor, Nikolaus y su padre ampliaban sus conocimientos matemáticos. Daniel finalizó los estudios de Medicina en 1721. En principio intenta entrar como profesor en la Universidad de Basilea, pero es rechazado.

En 1723 gana la competición anual que patrocinaba la Academia de las Ciencias francesa y a su vez Christian Goldbach, matemático prusiano con el que mantenía correspondencia sobre las lecciones aprendidas con su padre, impresionado por el nivel de Bernoulli, decide publicar las cartas escritas por Daniel.

En 1724, las cartas publicadas habían llegado a todo el mundo y Catalina I de Rusia le envió una carta proponiéndolo ser profesor en la recién fundada Academia de Ciencias de San Petersburgo.

En la Academia Daniel trabajó en la cátedra de Física. Como anécdota decir que ese tiempo compartió piso con Euler, que había llegado a la Academia recomendado por el propio Daniel y al que ya conocía por ser un aventajado alumno de su padre en la Universidad de Basilea. Daniel I estuvo ocho años en San Petersburgo y su labor fue muy reconocida.



Leonhard Euler



Catalina I de Rusia

En el año 1732 vuelve a Basilea donde había ganado el puesto de profesor en los departamentos de botánica y anatomía. En 1738 publicó su obra *Hidrodinámica*, en la que expone lo que más tarde sería conocido como el Principio de Bernoulli. Es notorio que mantuvo una mala relación con su padre a partir de 1734, año en el que ambos compartieron el premio anual de la Academia de Ciencias de París, Johann lo llegó a expulsar de su casa y también publicó un libro *Hydraulica* en el que trató de atribuirse los descubrimientos de su hijo en esta materia.

En 1750 la Universidad de Basilea le concedió, sin necesidad de concurso, la cátedra que había ocupado su padre. Publicó 86 trabajos y ganó 10 premios de la Academia de Ciencias de París, sólo superado por Euler que ganó 12. Daniel Bernoulli fue electo miembro de la Royal Society el 3 de mayo de 1750. Al final de sus días ordenó construir una pensión para refugio de estudiantes sin recursos.

### 5.4.1. Principio de Bernoulli

El **principio de Bernoulli**, describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente. Fue expuesto en su obra *Hidrodinámica* en 1738 y expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido. La energía de un fluido en cualquier momento consta de tres componentes:

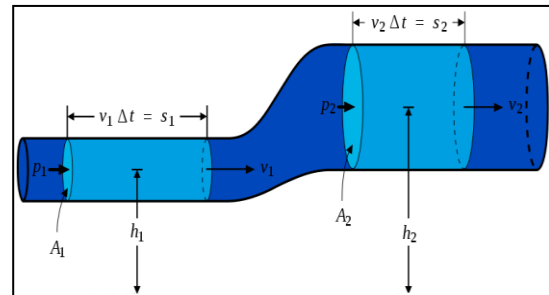
1. Cinética: es la energía debida a la velocidad que posee el fluido.
2. Potencial gravitacional: es la energía debido a la altitud que un fluido posee.
3. Energía de flujo: es la energía que un fluido contiene debido a la presión que posee.

La siguiente ecuación conocida como "Ecuación de Bernoulli" o "Trinomio de Bernoulli", consta de estos términos.

$$\frac{V^2 \rho}{2} + P + \rho g z = \text{cte}$$

Donde:

- V, velocidad del fluido en la sección considerada.
- g, aceleración gravitatoria
- z, altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia.
- P, presión a lo largo de la línea de corriente.
- ρ, densidad del fluido.



Esquema del principio de Bernoulli

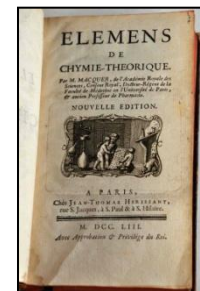
## 6. Fluidos misteriosos

Los misteriosos fluidos que ayudaban a los científicos a elaborar teorías y a comprender mejor el mundo desde Newton hasta principios del siglo XX son una muestra del ingenio humano en su lucha insaciable por comprender, explicar y hasta manipular el universo. El éter, el soporte de las ondas electromagnéticas; el calórico responsable de la transmisión del calor entre los cuerpos, y tan misterioso y escurridizo como el anterior; el flogisto, el fluido que se desprende al aire en las combustiones, con reminiscencias alquímicas.

De todos ellos el que mejor soportó el paso del tiempo, hasta ser vencido definitivamente, fue el éter. Pero en realidad todos tenían un valor explicativo inmenso, en sus respectivas teorías.

### 6.1. El flogisto

A principios del siglo XVIII, el médico Georg Ernst Stahl (1660-1734) siguiendo las ideas de su maestro J.J. Becher (1635-1682), propuso una explicación conjunta de la calcinación de los metales, la combustión de los cuerpos combustibles y la respiración de los animales, basada en la existencia de un "principio de la combustibilidad" que denominó "flogisto". De acuerdo con sus ideas, los metales estaban formados por flogisto y la cal correspondiente, de modo que, cuando se calcinaban, el flogisto se desprendía y dejaba libre la cal. Un buen ejemplo de los libros que emplearon esta teoría es la popular obra de Joseph Macquer, *Éléments de chimie-théorique*, de donde procede el siguiente texto:



Ejemplar de *Éléments de chimie-théorique*

#### **P. Macquer, *Éléments de chimie-théorique...* Paris, Chez Didot, 1756** Capítulo I. De los principios. Apartado V: El flogisto

Se deduce de lo que acabamos de decir sobre la naturaleza del Fuego, que nos es imposible retenerlo y fijarlo en ningún cuerpo. Sin embargo, los fenómenos que presentan las materias inflamables mientras arden, nos indican que contienen realmente la materia del Fuego como uno de sus principios. ¿A través de qué mecanismo este fluido tan penetrante, tan activo, tan difícil de retener, para el cual ninguna sustancia es impenetrable, se encuentra, no obstante, fijado de tal manera que forma parte de los cuerpos más sólidos?. Es esta una pregunta que resulta muy difícil contestar de modo satisfactorio (...) Examinemos las propiedades de este Fuego fijo, convertido en principio de los cuerpos, al cual, para distinguirlo del fuego puro y libre, se ha designado con el nombre griego Phlogistos.

## 6.2. El éter

Hacia finales del siglo XIX, James Clerk Maxwell (1831-1879) había propuesto que la luz era una onda transversal. Como parecía difícilmente concebible que una onda se propagase en el vacío sin ningún medio material que hiciera de soporte se postuló que la luz podría estar propagándose realmente sobre una hipotética sustancia material, para la que se usó el nombre de éter (debido a algunas similitudes superficiales con la hipotética sustancia de la física aristotélica).

Según se pensaba entonces: debido a que la velocidad de la luz dependería de la densidad del medio, siendo en general más lenta en medios más densos, se propuso que el éter habría de tener una densidad ínfima y un gran coeficiente de elasticidad. Esta explicación estaba presente en los tiempos de formulación de la teoría del campo electromagnético por Maxwell (1831-1879), Lord Kelvin (1824-1907) y Nikola Tesla (1856-1943), en la que el concepto de éter se incluía de manera semejante al moderno concepto de campo electromagnético.

### 6.2.1. Refutación de la existencia del éter

En un intento de probar la existencia del éter y la velocidad de la traslación de la Tierra con respecto a éste Albert Abraham Michelson (1852-1931) y Edward Morley (1838-1923) diseñaron un experimento capaz de medir la velocidad de la luz en dos direcciones perpendiculares entre sí y con diferente velocidad lineal relativa al éter. Fue el famoso experimento de Michelson y Morley (1887) cuyos resultados negativos en sucesivos intentos acabaron por disipar el concepto de éter y sirvieron de base a la formulación de la teoría de la relatividad especial de Einstein. Arthur Beiser señala que:

- «Los resultados negativos del experimento de Michelson y Morley tuvieron dos consecuencias: En primer lugar, al demostrar que el éter carecía de propiedades medibles resultaba insostenible la hipótesis del éter –final ignominioso para lo que había sido una idea respetada. En segundo lugar se vislumbraba un nuevo principio físico: la velocidad de la luz en el espacio libre es la misma en todas partes, independiente de cualquier movimiento de la fuente o del observador.»
- El segundo postulado de la relatividad especial es una consecuencia directa de la interpretación asignada al resultado que proporciona el interferómetro de Michelson y Morley, de allí que dicho postulado proponga «la velocidad de la luz en el espacio libre tiene el mismo valor para todos los observadores, independiente de su estado de movimiento.»

### 6.2.2. Nuevas perspectivas

Trabajos teóricos recientes como los de HongSheng Zhao de la Universidad de St. Andrews, en un intento de incorporar en un único marco teórico la materia oscura y la energía oscura, postulan que una energía oscura similar a un fluido puede comportarse como materia oscura si alcanza una densidad lo bastante alta. Esta idea, similar a la del éter, eliminaría la necesidad de la existencia de la Partícula Masiva de Débil Interacción (WIMP), afectando a la velocidad a la que pueden rotar las galaxias y justificando así los datos experimentales hasta ahora obtenidos. Dichos datos anómalos en la teoría convencional, habían llevado a diversos intentos de solución tan curiosos como las MOND (dinámica newtoniana modificada).



Este “fluido” ha representado para la cultura griega un símbolo místico desde su origen etimológico: αἰθήρ, cielo o firmamento, se creía que era una sustancia que respiraban los dioses, pero también fue una constante en la filosofía Aristotélica.

### 6.3. El calórico

La teoría calórica fue un modelo con el cual se explicó, durante un tiempo bastante prolongado, las características y comportamientos físicos del calor. La teoría explica el calor como un fluido hipotético, el *calórico*, que impregnaría la materia y sería responsable de su calor.

Para Lavoisier, las moléculas de todos los cuerpos de la naturaleza están en un estado de equilibrio, entre la atracción que tiende a aproximarlas, y la acción del calórico, que tiende a separarlas. Según su mayor o menor cantidad de calórico, los cuerpos son gas, líquido o sólido.

El calórico se difunde entre los cuerpos, pasando de uno a otro por contacto, incluso entre los seres vivos. Las quemaduras producidas por congelación se explicaban porque el calórico causaría los mismos daños en la piel, tanto al entrar en el cuerpo como al salir. El calórico se haría visible en las llamas, que estarían formadas en su mayor parte por dicho calórico desprendiéndose de los cuerpos. Las distintas sustancias presentarían distintas solubilidades para el calórico, lo que explicaría su distinto calor específico.

La teoría del calórico fue ampliamente aceptada, ya que incluso explicaba los experimentos de Joule sobre la equivalencia entre calor y energía, interpretando que al frotar un cuerpo, se romperían las vesículas microscópicas que contienen el calórico, liberando calor. Sin embargo, la teoría fue perdiendo adeptos, al no poder explicar diversos problemas, como la masa nula del calórico, por lo que fue abandonada a mediados del siglo XIX.

En la actualidad, el calor es considerado como energía en tránsito, que cumple las leyes de la termodinámica.

### 7. Conclusión

Si bien había tenido contacto con la mecánica de fluidos pero no a un nivel tan profundo. Ha sido aquí donde, llegado el éter, he visto las dos caras de una moneda, la filosófica, donde Aristóteles y algunos teólogos de la Edad Media le confieren propiedades misteriosas y fantásticas y la científica, como sustancia imponderable canal de la luz.

He quedado muy impresionado por la naturaleza y comportamiento de sin fin de fluidos que parecen sacados de una caja de magia a cual más pintoresco y extraño. Sin duda hacen que la imaginación “fluya” y nunca mejor dicho, junto a las palabras de un filósofo del siglo XXI que dijo así:

“Somos el éter de los sueños”

¿Qué hay más imponderable, más misterioso, más mágico en la Creación sino un sueño? Y, por tanto ¿Qué hay más imponderable que el éter en el que se funde y transporta? Ya lo decía Calderón de la Barca, la vida es sueño...

¿Serán fluidos las esencias que en lo real anidan, y las almas, y los pensamientos?

En este mundo de ciencia en el que nos hallamos, aún rodeado de miles de misterios, tiene tanto por enseñarnos como descubrir, en una carrera frenética y constante hacia el progreso.

## 8. Bibliografía y referencias

### Bibliografía

- **Luis Ortiz Berrocal** (2007). *Resistencia de materiales*, Madrid: Ed. McGraw-Hill. ISBN 9788448156336
- **Arquímedes**. Eutocio (2005). *Tratados I. Comentarios*. Madrid: Editorial Gredos. ISBN 978-84-249-2757-8.
- **Ortega, Manuel R.** (2006) (en español). *Lecciones de Física (4 volúmenes)*. Monytex. ISBN 84-404-4290-4, ISBN 84-398-9218-7, ISBN 84-398-9219-5, ISBN 84-604-4445-7.
- Resnick, Robert & Halliday, David (2004). *Física 4ª*. CECSA, México. ISBN 970-24-0257-3.
- **Tipler, Paul A.** (2000). *Física para la ciencia y la tecnología (2 volúmenes)*. Barcelona: Ed. Reverté. ISBN 84-291-4382-3.
- **Oliver X. & Agelet C.:** *Mecánica de medios continuos para ingenieros*, Ed. UPC, 2000, Barcelona, ISBN 84-8301-412-2.

### Consultas

- <http://www.nopuedocreer.com/quelohayaninventado/3794/increible-gel-amortiguador/>
- <http://rmhm.wordpress.com/2009/08/01/los-fluidos-imponderables-eter-calorico-flogisto/>
- <http://www.ciencianet.com/valledor.html>
- <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/fluidos.htm>
- <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/dinamica/bernoulli/bernouilli.htm>
- <http://www.lawebdefisica.com/apuntsfis/fluidosge/>
- [http://www.windows2universe.org/sun/Solar\\_interior/Sun\\_layers/Core/plasma\\_state.html&lang=sp](http://www.windows2universe.org/sun/Solar_interior/Sun_layers/Core/plasma_state.html&lang=sp)
- <http://science.portalhispanos.com/wordpress/2010/09/26/teoria-de-cuerdas-fluidos-perfectos-y-el-plasma-de-quarks-y-gluones/>
- [http://www.cibernetia.com/tesis\\_es/CIENCIAS\\_TECNOLOGICAS/PROCESOS\\_TECNOLOGICOS/PROCESOS\\_DE\\_FLUIDIFICACION\\_DE\\_SOLIDOS/1](http://www.cibernetia.com/tesis_es/CIENCIAS_TECNOLOGICAS/PROCESOS_TECNOLOGICOS/PROCESOS_DE_FLUIDIFICACION_DE_SOLIDOS/1)
- [http://www.google.es/search?um=1&hl=es&client=firefox-a&rls=org.mozilla:es-ES:official&tbm=isch&q=estado+plasma&revid=1015966328&sa=X&ei=d5bFTayJLZKq8AP\\_lun1Bw&ved=0CDcQ1QloBA&biw=1600&bih=771](http://www.google.es/search?um=1&hl=es&client=firefox-a&rls=org.mozilla:es-ES:official&tbm=isch&q=estado+plasma&revid=1015966328&sa=X&ei=d5bFTayJLZKq8AP_lun1Bw&ved=0CDcQ1QloBA&biw=1600&bih=771)
- <http://francisthemulenews.wordpress.com/2010/09/23/teoria-de-cuerdas-fluidos-perfectos-y-el-plasma-de-quarks-y-gluones/>