

CAPÍTULO 4

SOBRE EL EQUILIBRIO DE LOS LÍQUIDOS

Hoy en día vemos como se construyen modernas prensas hidráulicas para levantar pesos que en la antigüedad sería impensable hacerlo, el funcionamiento de los frenos de los vehículos, las puertas de los ascensores, grandes barcos transatlánticos surcan el mar y un sinnúmero de aparatos cotidianos funcionan de acuerdo con los principios construidos en torno al equilibrio de los líquidos. El estudio sobre el comportamiento de los líquidos era estudiado desde la misma antigüedad, pero fue en la Edad Media donde cristalizó como ciencia. Hieron de Alejandría y Arquímedes son los primeros de quienes se tiene noticia sobre el estudio de los líquidos, Simón Stevin estudió el problema fundamental del equilibrio y Pascal estableció la conexión entre ellos a través del principio que hoy en día lleva su nombre.

EXPLORACIÓN DE IDEAS

1. Explica por qué una aguja que pesa muy poco se hunde en el agua pero un barco trasatlántico que pesa muchísimo más, flota en el mar
2. Explica si se puede afirmar con seguridad que los objetos pesados se hunden en el agua y los livianos flotan, por qué sí o por qué no.
3. Explica cómo funciona un gato hidráulico para levantar los carros

LOS ANTIGUOS Y EL PROBLEMA FUNDAMENTAL DEL EQUILIBRIO

La noción de equilibrio ha jugado un papel importante en el estudio de los fenómenos de la naturaleza, la idea de un universo en equilibrio fue defendido desde la antigüedad, las estrellas fijas se sostenían en reposo en la última esfera del universo. La noción de equilibrio ha servido de base para explicar, por ejemplo, el reposo y el movimiento natural de los cuerpos, la tendencia de los cuerpos a ocupar su lugar natural es precisamente a recuperar su estado de equilibrio.

Con el desarrollo artesanal de máquinas simples para la guerra como palancas y catapultas se aplica al estudio de relaciones que permitan levantar grandes pesos con pequeñas fuerzas. Posteriormente la noción de equilibrio se trasladó al estudio de los líquidos y luego a los gases. Todos los fenómenos conocidos en la época se explicaban desde una concepción “mecánica” de la naturaleza, donde el equilibrio es un concepto fundamental. Solamente hasta finales del siglo XIX se empezaron a considerar nociones de no-equilibrio para explicar el comportamiento del universo, particularmente en los fenómenos térmicos.

Actividad: explique de qué manera es posible relacionar el funcionamiento de las máquinas con el concepto de equilibrio.

Equilibrio de los cuerpos



Simón Stevin
(1548-1620)

Desde la antigüedad se había configurado un problema interesante en torno al equilibrio de los cuerpos. Se tiene noticia de que Simón Stevin (1548-1620), ya había realizado algunos trabajos en esta dirección, especialmente con palancas y máquinas llegando a construir el concepto de presión para diferenciarlo del concepto de peso. En 1586 demostró que la presión ejercida por un líquido sobre una superficie depende únicamente de la altura y la superficie pero no de la forma. En la historia de la Física fue conocido por sus trabajos sobre fortificación e ingeniería militar. Sus contemporáneos le conocieron por la invención de un carruaje con velas que, cargado con veintiocho personas, se movía a una velocidad superior a la de un caballo al galope.

El comportamiento de los líquidos también fue objeto de estudio desde la antigüedad, Heron de Alejandría inventó varios aparatos para estudiar los líquidos, inventó el sistema de vasos comunicantes, inventó el sifón y muchos más. Pero fue Arquímedes quien por primera vez aplica los principios de la estática al estudio de los líquidos, llegando a considerar que los líquidos en reposo se encuentran en equilibrio. “Arquímedes argumentaba que entre más lejos estuviera el punto de apoyo de la palanca, más fácil sería el levantamiento de un peso cualquiera; o sea que hay una relación directa entre la fuerza y el brazo existente”.

Llegó incluso a decir “dadme un punto de apoyo y yo os moveré el mundo” para mostrar la increíble capacidad de fuerza que se podría obtener con una palanca.

Actividad: Discute con los compañeros los alcances de esta afirmación hoy en día.

En el campo de los líquidos Arquímedes estudio de manera sistemática el equilibrio a través de la flotación de los cuerpos identificando dos fuerzas a saber, el peso del objeto y el empuje que hace el líquido sobre el objeto, la igualdad de estas dos fuerzas mantienen a los objetos en equilibrio, cuando la fuerza de empuje es menor que el peso, el objeto se hunde. Más adelante veremos esto con detalle.

Jordanus en la Edad Media, desde una perspectiva diferente, sostiene que “... lo que puede levantar un peso a cierta altura, puede levantar un peso n veces más pesado a una altura n veces menor”.

Con esta afirmación Jordanus establece los primeros elementos de lo que más adelante se convertirá en una potente máquina para levantar pesos y el principio de las palancas sería la primera construcción de una ley matemática aplicada a la naturaleza.

Descartes y el principio de los desplazamientos virtuales



Descartes
(1596-1650)

La influencia de Rene Descartes (1596-1650) en la Edad Media fue determinante para las investigaciones que se siguieron en torno a las ciencias. Su pensamiento se identificaba con una concepción plenista de la naturaleza. Existe una materia sutil que lo llena todo, dicha materia es la razón para que no exista el vacío. Las características de esta materia sutil eran un tanto complicadas, se asumía como materia corpórea pero carente de peso. Por supuesto que su influencia llevó a que muchos investigadores en la Edad Media y posterior a ella, defendieran las ideas plenistas y

cuestionaran la existencia del vacío.

Respecto al funcionamiento de las máquinas, considera el principio de los desplazamientos virtuales como el principio regulador de éstas, contrario a las ideas de Galileo quien identificaba el principio de las velocidades virtuales. En una carta de Descartes a su amigo Costantino Huygens le escribe lo siguiente:

La invención de todos lo ingenios (que sirven para levantar un peso grande mediante una fuerza pequeña) está fundada exclusivamente en un principio único, a saber, que la fuerza que puede levantar un peso de 100 libras por ejemplo a una altura de 2 pies puede también levantar un peso de 200 a la altura de 1 pie o de 400 a la altura de 1/2 pie y así sucesivamente con tal de que sea aplicada a ellos.

[...] y ese principio no puede dejar de ser admitido, si se considera que el efecto debe ser siempre proporcionado a la acción que es necesaria para producirlo.

[...] “esa fuerza tiene siempre dos dimensiones, es el producto de un peso por una altura.

Actividad: explica de acuerdo con el principio qué requisitos debe cumplir una palanca para levantar un peso de una tonelada a una altura de dos metros?

Actividad: explique cómo aplica el principio de los desplazamientos virtuales para el caso de dos pesos de 1 y 4 libras que están en equilibrio (fig. 9) pero que cuando el peso de una libra descienda 1 cm. qué sucede con el otro?

Sugerencia: el bloque de 4 libras se puede pensar descompuesto en 4 bloques de 1 libra;

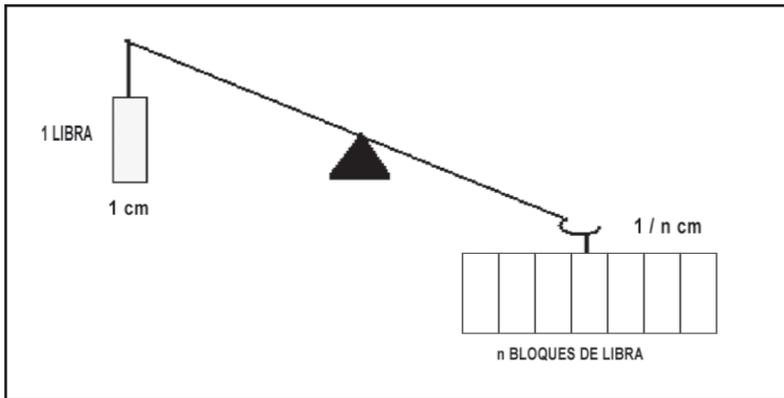


Fig. 9

Principio de los desplazamientos virtuales de Descartes

Pascal y el Equilibrio de los Líquidos

Pascal estudia el comportamiento de los líquidos teniendo en cuenta los trabajos de Stevin, Arquímedes y posiblemente Descartes para la estática. Hay dos aspectos que le interesa demostrar:

1. Si el aire es considerado según Baliani y Torricelli de tal manera que nos encontramos sumergidos en un gran “mar de aire” y además se encuentra en equilibrio con la columna de mercurio (ver próximo capítulo), entonces el aire se comporta como lo hacen los líquidos que están en equilibrio, por lo tanto un estudio riguroso de los líquidos permitiría justificar posteriormente por analogía la acción del peso y la presión del aire.

2. Si los líquidos se encuentran en equilibrio entonces se pueden convertir en máquinas como por ejemplo palancas (ya estudiadas por Arquímedes) lo cual permitiría identificar una ley similar a la encontrada por Stevin para las palancas o máquinas simples. El mismo lo afirma diciendo: “un recipiente contenido de agua se puede convertir en una poderosa máquina para multiplicar fuerzas al grado que queramos”.

Con estas intenciones Pascal realiza una serie de experimentos descritos en su tratado sobre el “Equilibrio de los Líquidos”, utiliza distintos líquidos a saber mercurio, agua, vino, aceite y aire, y utilizó instrumentos como jeringas, sifones, tubos y fuelles entre otros para demostrar que:

a) el principio de los desplazamientos virtuales de Descartes se puede aplicar para el caso de los líquidos y así obtener que el peso de la columna de un líquido es proporcional a su altura;

b) dos líquidos están en equilibrio cuando sus respectivos pesos están en proporción a sus alturas, sin importar la forma y el volumen de los recipientes

c) la presión ejercida por un líquido es la misma en todos los puntos en un recipiente; y

d) un cuerpo sumergido en un líquido es empujado por éste en todas las direcciones.

El principio de la máquina hidrostática

¿Cómo convertir entonces un líquido en equilibrio en una poderosa máquina? con la noción de equilibrio a partir de la igualdad de fuerzas y el conocimiento de los desplazamientos virtuales de Descartes, Pascal propone el siguiente experimento:

Si tenemos un recipiente lleno de agua –o cualquier líquido– con dos aberturas una más grande que la otra (ver figura) vemos que la altura es la misma en las dos columnas y que aunque los pesos son desiguales estos se equilibran. Para examinar la condición de equilibrio vierte líquido por una de las aberturas. Supongamos que el líquido es vertido por la abertura más pequeña. El peso del líquido vertido presiona haciendo que el nivel anterior en la abertura pequeña baje y el de la abertura grande se eleve. Este proceso se da hasta que los pesos se hacen proporcionales a las alturas de las columnas en cada abertura, por eso se necesitan las mismas alturas.

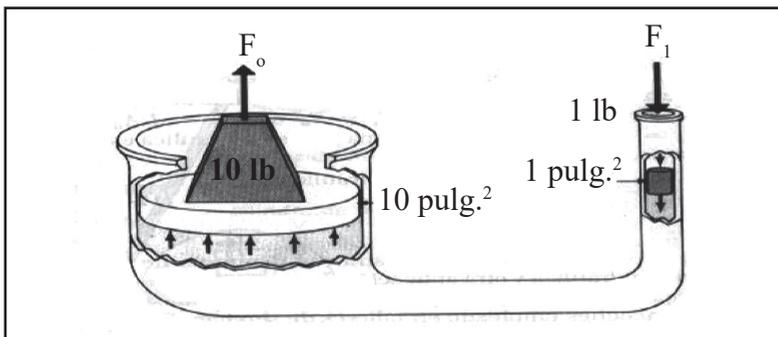


Fig. 10
Máquina hidrostática de Pascal.

El equilibrio en este experimento no depende de la cantidad de líquido, porque una columna delgada de agua puede equilibrar una columna más gruesa de agua, lo que sí se hace importante es la altura de las dos columnas, para el caso de un mismo líquido (en este caso agua) las alturas son iguales, pero si se tienen líquidos diferentes las alturas respectivas variarán dependiendo de sus respectivas densidades.

Actividad: una columna de agua de 10,5 m se equilibra con 76 cm mercurio a nivel del mar. Encuentra con qué altura de la columna de mercurio se equilibra la misma altura del agua en tu ciudad?

Pascal propone ahora el siguiente experimento para identificar como actúa el principio de los desplazamientos virtuales en el equilibrio de los líquidos

“ si un recipiente de cualquier forma, cerrado por todas partes, tiene dos aberturas, una de ellas cien veces más grande que la otra, presentando cada una de ellas un émbolo que ajuste perfectamente, un hombre empujando el émbolo chico, igualara la fuerza de 100 hombres que empujaran el grande (cada uno con la misma fuerza del chico) y podría más que noventa y nueve”.

Este experimento expresa tres relaciones importantes a saber:

Fuerzas proporcionales a desplazamientos

En este experimento la fuerza sobre el pistón pequeño causa un efecto sobre la fuerza en el pistón grande, logrando levantarlo; siendo las fuerzas o los pesos inversamente proporcionales a las distancias desplazadas. Por ejemplo, si estando todo el sistema en equilibrio, ahora le colocamos un peso de 1 kg para que el pistón pequeño descienda 1 cm entonces el pistón grueso subirá un peso de 100 kg a una altura de 1/10 cm, si el pistón pequeño desciende 2 cm entonces el pistón grueso subirá 2/100 cm y así sucesivamente.

$$F_1/F_2 = d_2/d_1 \quad (1)$$

Siendo F_1 y F_2 los pesos o fuerzas y d_1 y d_2 los desplazamientos de los pistones.

Desplazamientos proporcionales a áreas

Pascal revisa lo que sucede con los desplazamientos de los pistones si dejamos quietos los pesos o fuerzas actuantes y variamos el diámetro de la abertura. Encuentra lo siguiente, si una abertura es 100 veces más grande que la otra, entonces al hacer descender el pistón en la abertura más pequeña 1 cm., desplaza el agua una cierta cantidad, acción que se va propagando a lo largo del líquido hasta llegar al otro pistón. Como la cantidad de agua desplazada es la misma, si se considera el líquido incompresible, y ésta debe repartirse en la abertura mayor en un área mayor, hará que cada parte del pistón grande se desplace 1/100 cm. Por lo tanto, podemos afirmar que los desplazamientos de los pistones son proporcionales a las áreas de estos (o a las de las aberturas), que podemos expresar así:

$$A_1/A_2 = d_2/d_1 \quad (2)$$

Siendo A_1 y A_2 las áreas de las aberturas y d_1 y d_2 los desplazamientos de los pistones.

Fuerzas proporcionales a las áreas

Teniendo en cuenta las expresiones (1) y (2) podemos concluir entonces que en la máquina hidrostática los pesos (F) o fuerzas ejercidas sobre el líquido están en equilibrio, si estos son proporcionales a las áreas (A) del líquido sobre las cuales actúan:

$$F_1/F_2 = A_1/A_2$$

Actividad: si el valor de la fuerza F_1 es la cuarta parte de F_2 , cuál es el valor de A_2 si A_1 tiene un diámetro de 10 cm?

EL PRINCIPIO DE PASCAL

Presión externa a un líquido

Usualmente se suele confundir presión con fuerza. A veces se asume la presión como una acción que realizan los líquidos, pero si fuera así entonces sería una fuerza. Pascal considera que para que la expresión matemática que acabamos de obtener mantenga la proporcionalidad, debe haber algo que permanece constante ¡Esa es la presión! Si en un mismo recipiente la fuerza inicial se multiplica varias veces para levantar un peso enorme es por que se comunicó una presión constante en todo el recipiente. Al respecto dice: “la presión ejercida sobre un líquido es transmitida integralmente y en todas las direcciones con la misma magnitud”.

A diferencia de muchos de sus opositores que identificaban el equilibrio de los líquidos en función del peso, Pascal encuentra que la clave está en la presión.

Experimento

Si tenemos un tubo lleno de agua y sobre la parte superior colocamos un pistón que encaja perfectamente y luego presionamos hacia abajo con una fuerza de una libra, esta presión va a ser la misma en todas las partes del líquido. Si hacemos, por ejemplo, un orificio al tubo en alguna parte, el agua saldrá en chorro, con una fuerza que está en la misma proporción a la abertura del propio orificio como la fuerza inicial lo está a su respectiva abertura. Si la presión no se transmitiera por igual en todas las partes entonces el agua no saldría en chorro como en verdad ocurre (fig. 11), al haber continuidad en el líquido, la presión, debida a la fuerza que se ejerce sobre el pistón, se transmite por igual en todas sus partes. Al hacer un orificio la presión ejercida sobre este punto cederá y el agua saldrá con una presión igual a la ejercida por el pistón hacia abajo; verificándose una proporcionalidad entre las aberturas del tubo y el orificio y las fuerzas respectivas. De esta forma se encuentra un fundamento del equilibrio de los líquidos y se avanza en la constitución del concepto de presión.

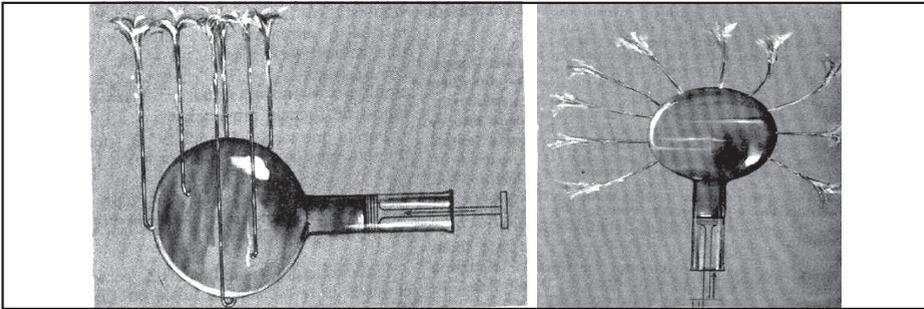


Fig. 11

La presión es igual en todas partes del recipiente.

Presión interna en un líquido

Los experimentos y demostraciones realizados hasta aquí hacen referencia a acciones de fuerza o peso externas al líquido, pero ¿qué define el equilibrio de un líquido cuando éste no está sometido a una presión externa? En lo que sigue, Pascal responde a esta pregunta y pone de manifiesto lo que significa asumir el concepto de presión como elemento de análisis.

Experimento

Introducir en el agua o en cualquier otro líquido en reposo, pequeñas láminas de cartón, colocándolos en distintas posiciones y a diferentes profundidades, se observa que las láminas conservan la posición adquirida, aunque las fuerzas que actúan sean diferentes, lo que demuestra que la presión que resulta en sus dos caras es la misma sin importar la profundidad ni la posición. Demuestra así “que cuando se trata del equilibrio de un líquido la presión tiene la misma magnitud en todos los puntos que se encuentren a la misma altura”.

En otras palabras, es la fuerza por unidad de área lo que tiene sentido en la problemática del equilibrio de un líquido. El peso del líquido no es proporcional al volumen que lo contiene sino a la altura que alcanza. Una misma cantidad de líquido en dos recipientes diferente alcanza alturas diferentes, pero la presión en dos puntos que se encuentren a la misma altura va ser igual. Se constituye, así el concepto de presión en el criterio para definir el equilibrio o desequilibrio de un líquido. **SI HAY EQUILIBRIO LAS PRESIONES SON IGUALES, PERO SI LAS PRESIONES SON DIFERENTES ENTONCES HAY MOVIMIENTO.**

Con el tiempo se empezó a identificar la presión en los líquidos en unidades llamadas pascales en honor a Pascal.

Equilibrio entre dos líquidos

Experimento

Tenemos un tubo en U, abierto en los dos extremos y que contiene mercurio (fig. 12) al comenzar a agregar agua sobre el tubo por una de las aberturas llega un momento en el que se observa que cuando el agua alcanza una altura 10,5 metros la altura del mercurio es de 76 cm. En esta condición de equilibrio se puede establecer que el agua necesita una altura 14 veces mayor que el mercurio para equilibrarse con la columna de 76 cm (76 por 14). Por el experimento de Torricelli sabemos que 76 cm de mercurio equivalen a 1 atmósfera de presión, por lo tanto 10,5 m de agua también equivalen a 1 atmósfera de presión. Como conclusión, si los pesos son proporcionales a las alturas, se debe tener que, un líquido más pesado va a estar a menor altura que un líquido más liviano cuando están en equilibrio.

Actividad: con una tabla de densidades averigüe qué altura requiere una columna de alcohol para equilibrarse con 2 atmósferas de presión de agua.

Actividad: si consideramos que los gases se comportan como líquidos, explique ¿cómo podría diseñarse un experimento para averiguar la presión del aire a una altura de 300 m sobre el nivel del mar?

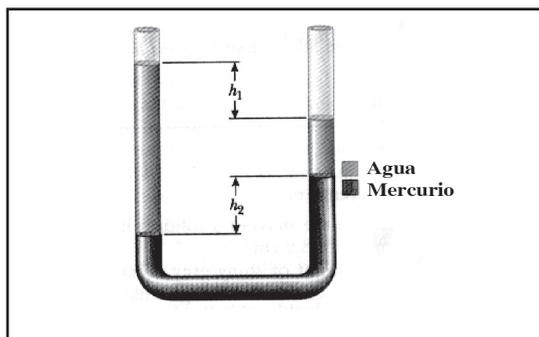


Fig. 12
Equilibrio entre dos líquidos

Actividad: ¿por qué en la figura 13 el nivel del líquido permanece igual a pesar de agregar más líquido por uno de los brazos del sifón? ¿qué pasa si el brazo corto se cierra?

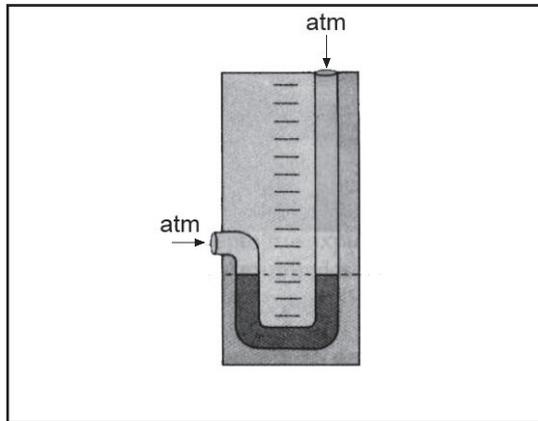


Fig. 13
Equilibrio de un líquido

Equilibrio en los vasos comunicantes

Experimento

Tenemos un sistema de vasos comunicantes como los que se observan en la figura (fig. 14) cada uno de ellos con diferente forma y con diferente abertura, unos más delgados y otros más gruesos, pero todos comunicados por su base. Se comienza a llenar el sistema agregando agua por una (cualquiera) de las aberturas. Se observa que todos los vasos se van llenando simultáneamente, ninguno se llena primero, el agua va alcanzando la misma altura en cada uno de ellos al mismo tiempo.

Actividad: explique según el principio de Pascal sobre la igualdad de presiones, el comportamiento de los vasos comunicantes.

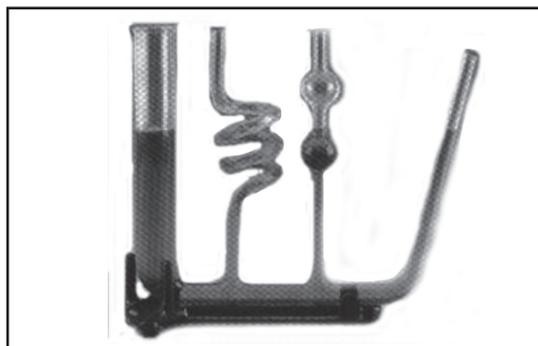


Fig. 14.
Vasos comunicantes.

Experimento

Realicemos el experimento anterior pero ahora con dos líquidos agua y mercurio, Al variar las condiciones externas, o sea la forma de los recipientes, se demuestra nuevamente que el agua necesita una altura 14 veces mayor que la del mercurio par que haya equilibrio. Lo que quiere decir que cumple con el principio de Pascal o sea que no depende de la forma ni del tamaño del recipiente siempre que la presión en un punto sea la misma y sus respectivas alturas estén en proporción a sus pesos.

Actividad: con la ayuda de la tabla de densidades averigua la altura alcanzada por otros líquidos diferentes, mercurio, alcohol y aceite si el agua alcanza una altura de 80 cm.

Actividad: utilizando el principio de Pascal y el comportamiento de los vasos comunicantes explica por qué es importante que el agua de las represas que distribuyen el acueducto a una ciudad deba encontrarse más alta que todas las casas de la ciudad. Averigua por qué es necesario en algunos edificios el uso de bombas de succión para elevar el agua.

Actividad: los obreros suelen utilizar una manguera llena de agua para constatar que las alturas en la construcción de un muro queden parejas y sin desnivel. Explica si este procedimiento es correcto o no.

La prensa hidráulica

La prensa hidráulica es una poderosa máquina capaz de multiplicar fuerza al grado que queramos. Consiste en dos émbolos de aberturas o áreas diferentes conectados entre si por un conducto (fig. 15) se utiliza en los sistemas de freno de los autos, los elevadores de carros en los servicentros, prensas deformadoras de láminas, los ascensores y un sinnúmero de aplicaciones caseras.

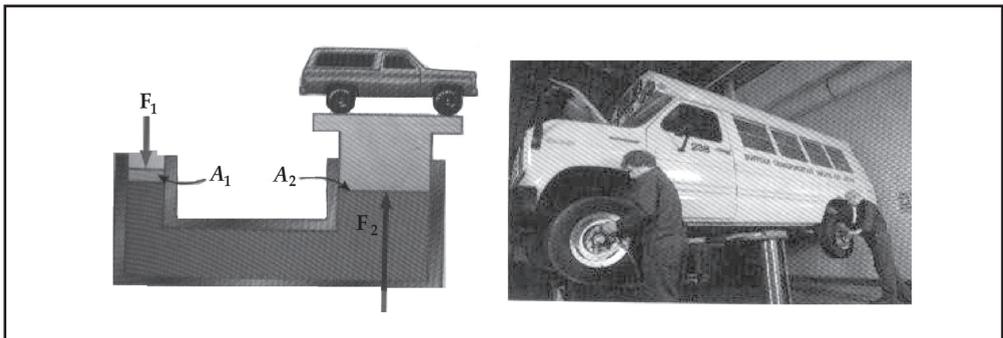


Fig. 15
Prensa hidráulica.

De acuerdo con el principio de Pascal los émbolos tienen por áreas “ A_1 ” para el pequeño y “ A_2 ” para el grande, si sobre el émbolo pequeño se aplica una fuerza “ F_1 ” entonces la fuerza resultante en el otro émbolo va a ser “ F_2 ” que resulta del producto $F_1 A_2 / A_1$ y de acuerdo con el principio de los desplazamientos virtuales $F_1 / F_2 = d_2 / d_1$ si el pistón pequeño se desplaza una distancia d_1 entonces el pistón grande se desplazará $F_1 d_1 / F_2$

Actividad: averigüe y explique qué técnicas se requieren para levantar un peso de 1 tonelada a una altura de 2 metros usando la prensa hidráulica.

FLOTACIÓN DE LOS CUERPOS

Un fenómeno importante conocido desde la antigüedad, estudiado por Arquímedes pero consolidado por Pascal es la flotación de los cuerpos. Pascal a la luz de sus desarrollos teóricos interpreta el fenómeno de flotación haciendo del concepto de presión el elemento explicativo fundamental. Establece que la presión en un líquido debido a su propio peso aumenta con la profundidad. Arquímedes ya había propuesto que para que existiera equilibrio deberían existir por lo menos dos fuerzas iguales y contrarias, la primera el peso del objeto, ¿cuál debe ser la segunda? Para el caso de los líquidos Arquímedes propuso que debe existir una fuerza de “empuje” hacia arriba que equilibrara el peso aparente del objeto. Un objeto que flota está entonces en equilibrio. Arquímedes lo expresa de la siguiente manera: “todo cuerpo sumergido en un líquido, recibe de este un empuje vertical y hacia arriba igual al peso del líquido que desaloja”.

Al colocar un objeto dentro de un líquido se observa que el objeto aparentemente pesa menos, por ejemplo, si en el aire pesa 10 kg, se observa que en el agua pesa 6 kg, ¿qué pasó con los otros 4 kg? Para Arquímedes ese era el empuje que estaba haciendo el agua.

Para Pascal la explicación de la flotación se mejoraba utilizando el concepto de presión. Si introducimos un objeto en un líquido cualquiera éste va a estar presionado por todas sus partes, siendo mayor la presión en aquellos puntos que están a mayor profundidad. Si la diferencia de las presiones ejercidas por el líquido es mayor que su peso por unidad de área éste flotará, si es menor se hundirá y si es igual entonces ni se hundirá ni flotará. Al respecto dice Pascal: “Si un cuerpo de cobre o de cualquier otra materia parecido pesa más que un volumen igual de agua se hundirá porque la presión excede a aquella que le hace contrapeso”.

“Si un cuerpo de madera o de cualquier otro elemento más ligero que un volumen igual de agua se sumerge, pero este tiende a flotar es porque la presión del agua es mayor que la presión debida a su peso”. Y “Si un cuerpo como la cera que ni flota ni se hunde sino que permanece en el mismo sitio donde se le coloca es por que las presiones son iguales.”

Actividad: de acuerdo con la lectura anterior ¿cómo puedes explicar que un globo se pueda elevar en el aire?

Si tomamos un bloque de cobre y lo sumergimos en un recipiente con agua, vemos que éste tiende a hundirse. La razón es que la diferencia de presiones sobre sus partes superior e inferior es menor que la presión del bloque sobre el agua, esto es el peso del bloque por unidad de área (o el peso entendido como proporcional a la altura del cuerpo), por lo tanto se hunde. Si la diferencia de presiones sobre sus partes superior e inferior es mayor que la presión del bloque, entonces este tiende a subir y flotar y finalmente si las presiones son iguales el bloque ni sube ni baja sino que se queda quieto en el lugar donde se le colocó.

Experimento: el diablillo de Descartes

Llenamos un recipiente, que puede ser una botella de gaseosa plástica con agua hasta el tope como lo muestra la figura (fig. 16) colocamos en su interior una figura hecha en material ligero como el Ludion, también resultan ideales los frascos de muestra de perfumes, luego se introduce el diablillo (ludion o frasco de perfume) desocupado (lleno de aire) en la botella con la abertura hacia abajo, tapamos y sellamos herméticamente incluso cuando la botella está llena a rebosar, debe tenerse especial cuidado en no dejar burbujas de aire dentro de la botella. Al Presionar firmemente los laterales de la botella se observa que el diablillo baja, al soltarla sube y después de algunos intentos puede lograrse que quede en equilibrio en cualquier lugar del líquido.



Fig. 16
El diablillo de Descartes.

En la visión de Pascal se sostiene que un cuerpo inmerso en el agua va a estar sometido a presión por todos sus lados. Por los lados laterales la presión en cada punto es diferente, pero como sólo depende de la profundidad entonces éstos van a estar sometidos a las mismas presiones. Al presionar la botella se puede observar como disminuye el volumen de aire contenido en el interior del perfume. Al dejar de presionar, el aire recupera su volumen original. Esto es consecuencia del principio de Pascal: Un aumento de presión en un punto cualquiera de un fluido encerrado se transmite a todos los puntos del mismo.

Antes de presionar la botella, el diablillo flota debido a que su peso queda contrarrestado por la fuerza de empuje ejercida por el agua. La disminución del volumen del aire en el interior del diablillo, lleva consigo una reducción de la fuerza de empuje ejercida por el agua.

Actividades adicionales

Para analizar la aplicación del principio de Pascal se pueden recontextualizar experimentos realizados con jeringas, tubos, sifones y fuelles entre otros. Un núcleo de actividades pueden ser lo siguiente:

Experimentos con jeringas

- a) Introducimos una jeringa con un émbolo bastante largo (1 m. aprox.) y hueco, metemos la abertura de la jeringa en un recipiente lleno de mercurio, y todo este conjunto en una tina con agua o aceite (fig. 17) Manteniendo el extremo superior del émbolo fuera del agua, tiramos lentamente de él hacia arriba. Efecto: al tirar del émbolo hacia arriba, el mercurio comienza a subir a través del tubo de la jeringa.

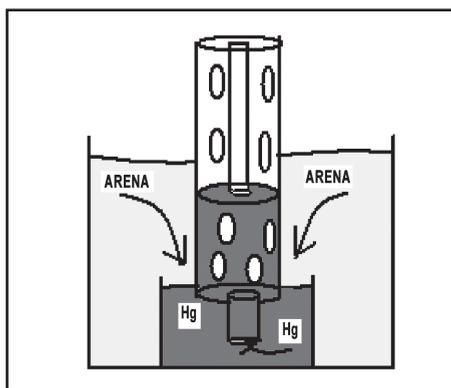


Fig. 17
Jeringa con orificios

- b) Tomamos el mismo dispositivo del experimento anterior; jeringa, mercurio y agua; solo que esta vez se le hace a la jeringa orificios por todas partes, por los cuales pueda penetrar el agua. Tiramos nuevamente del émbolo lentamente hacia arriba. Efecto: en forma contraria al experimento anterior, aquí observamos que el mercurio no asciende por el interior de la jeringa.

Actividad: explica los efectos de los experimentos de acuerdo con el principio de Pascal. Diseña otros experimentos con jeringas de diámetros diferentes, qué pasa con el mercurio si en la jeringa se encuentra inicialmente un vacío?

Experimentos con tubos

- a) Tomamos un tubo de cristal de una longitud superior a tres pies, abierto por uno de sus extremos y cerrado por el otro, lo llenamos de mercurio y lo colocamos boca abajo sumergido en un recipiente también lleno de mercurio, y todo el dispositivo en una tina con agua. Efecto: El mercurio baja hasta que la presión debida al peso de éste se hace igual a la suma de las presiones debidas al peso del aire y al del agua. Cuando esto sucede la columna de mercurio deja de descender (fig. 18).

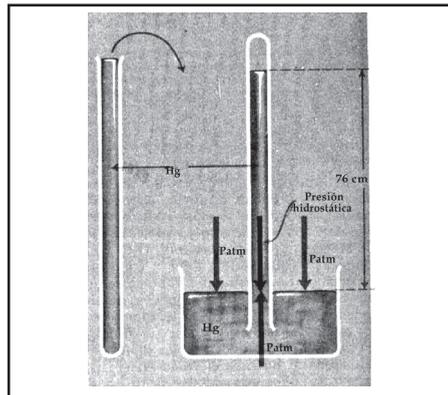


Fig. 18
Tubo con mercurio

- b). Tomamos un tubo largo (3 m. aprox.), cerrado en su extremo superior, curvado en su extremo inferior. Se llena de mercurio y se introduce en una tina de agua de modo que su extremo superior sobresalga fuera de ésta. Efecto: el mercurio quedará parcialmente suspendido en su interior. O sea cuando la altura a la que se encuentre pueda contrapesar al agua que hay fuera.

Actividad: explica qué sucede con el mercurio si se introduce totalmente en el agua hasta una profundidad de 10,5 metros.

Experimentos con sifones

a) Tomamos un sifón con un brazo más largo que otro. En la parte más alta del sifón hacemos un orificio e insertamos un tubo de 20 pies o más y llenamos el dispositivo completamente de mercurio e introducimos cada brazo en un recipiente con mercurio y todo en una tina llena de agua. De tal manera que 4 pies del tubo insertado quede fuera del agua (fig. 19).

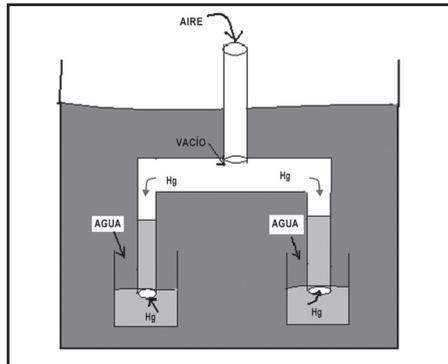


Fig. 19
Sifones

Efecto: al introducirse perpendicularmente el tubo con el sifón en los recipientes con mercurio, y todo a su vez en agua, se presenta que el mercurio comienza a fluir del brazo más corto hacia el brazo más largo, desocupando el recipiente en el que se encuentra inmerso.

Explicación: como el sifón está sometido a la presión atmosférica, debido al tubo que se le ha insertado, y como el agua está también afectada por ésta. se puede considerar el caso como si solo fuera causado por la acción del agua. En ambos brazos del sifón, la presión del mercurio en las aberturas es menor que en los demás puntos, haciendo que exista una tendencia a succionar el mercurio. Tal tendencia está definida por la diferencia de presiones entre el mercurio exterior a la abertura y el que está en contacto con ésta. La presión del mercurio en la abertura es debido al peso de éste contenido en el brazo, siendo mayor para el brazo más largo y menor para el más corto. La presión del mercurio exterior a la abertura es debida al peso de la columna de agua; y tal presión es mayor para el brazo más largo que para el más corto. Por lo tanto, el mercurio tenderá a ser succionado más por el brazo más corto; produciéndose así la transferencia del líquido hacia el recipiente del brazo más largo.

Actividad: un conductor se queda varado en la vía por falta de gasolina, se va caminando a comprar gasolina en un galón para luego traspasarla al tanque, explica de acuerdo con lo visto anteriormente cómo logra el conductor pasar gasolina del galón al tanque usando una manguera y succionando a través de ella.

- c) Tomamos el mismo dispositivo del experimento anterior, pero ahora le hacemos perforaciones al tubo, de manera que el agua pueda penetrar en su interior. Efecto: el mercurio contenido en el sifón ya no circulará de un brazo a otro, sino que caerá por sus respectivos brazos dentro de sus recipientes y el agua ocupará su lugar (fig. 20).

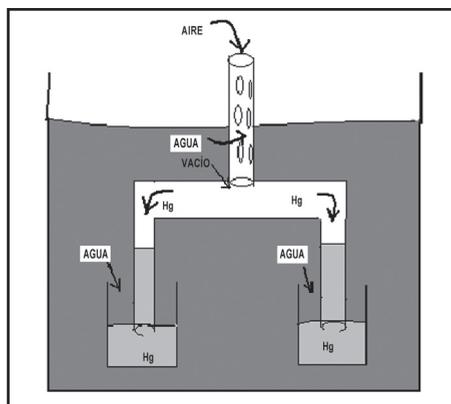


Fig. 20
Sifones con orificio

Actividad. Explica ¿por qué razón el mercurio no circula?

Experimentos con fuelles

- a) Tomamos un fuelle (fig. 21) con todas sus aberturas bien tapadas y lo introducimos en agua, luego tratamos de abrirlo. Efecto: el fuelle presenta resistencia a ser destapado.

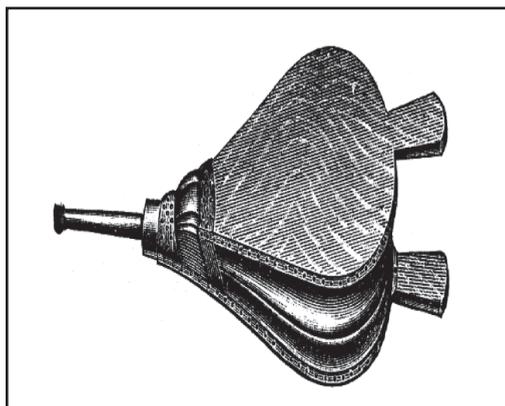


Fig. 21
El fuelle.

Explicación: al estar sumergido el fuelle va a sostener el peso de la columna de agua, a la profundidad que se encuentre. A más profundidad es mayor el esfuerzo por tratar de abrirlo, y menos cuando la profundidad es menor.

- b) Tomamos el fuelle y lo dejamos abierto; completamente sumergido en agua, de tal manera que ésta penetre al fuelle y luego lo cerramos. Tratamos nuevamente de abrirlo. Efecto: El fuelle no muestra ninguna dificultad a ser abierto o cerrado.

Actividad: explica ¿por qué razón el fuelle no presenta dificultad para ser abierto?

Actividad: explica qué sucede si tomamos un fuelle cuyo tubo sea de aproximadamente 20 pies y lo sumergimos en agua, de tal manera que la parte superior del tubo quede por fuera y luego tratamos de abrir el fuelle.

Hasta aquí hemos visto una pormenorizada descripción de los experimentos que hizo Pascal sobre el equilibrio de los líquidos. Estos experimentos dejan en claro los siguientes aspectos:

1. Los líquidos se equilibran cuando los pesos de sus columnas son proporcionales a sus respectivas alturas.
2. La presión ejercida por cualquier líquido en un punto siempre será transmitida en todas las direcciones y en todos los puntos en contacto.
3. Dos líquidos están en equilibrio cuando están sometidos a la misma presión; es decir cuando sus respectivos pesos por unidad de área son iguales.
4. La fuerza que necesita la columna de un líquido para levantar un peso cualquiera, está determinada por su altura.

LECTURA COMPLEMENTARIA
PASCAL Y LA ESTÁTICA DE LOS FLUIDOS
ALEXANDRE KOYRE

(Fragmento)

La hidrostática y el método de Pascal. Por admirable que fuera, el principio de Arquímedes no era sino una ley global. Simón Stevin, que había dado en Estática una demostración del equilibrio de un grave en un punto inclinado fundándola en la imposibilidad del movimiento perpetuo, fue el primer “moderno” capaz de superar a Arquímedes al concebir la noción de presión. Pero el mérito de haberla precisado pertenece a Pascal. En los dos tratados citados más arriba, publicados en 1663 pero redactados, al parecer, entre 1651 y 1654, Pascal anuncia claramente que, abstracción hecha del peso, sobre el envoltorio de una masa fluida en equilibrio la fuerza a considerar es en todas partes proporcional a la superficie de aplicación.

Pascal da una primera justificación de sus pasos que se aproxima a la Estática de los trabajos virtuales de Descartes. A tal respecto, meter en el interior de un fluido un pistón de débil superficie y con una cierta profundidad es lo mismo que meter un pistón “cien veces más largo a una profundidad cien veces más pequeña: en ambos casos la masa desplazada es la misma. Pascal invoca la continuidad y la fluidez, pero no ve que está postulando la incompresibilidad del fluido sobre el que razona, el agua, y la conservación del volumen en toda deformación virtual a partir del estado de equilibrio.

Sin duda fue un sentimiento de insuficiencia lo que le lanzó a añadir una prueba que sólo podrá ser entendida por los geómetras y acaso tolerada por “los demás”. Esta prueba no es, sin embargo, más satisfactoria que la primera. Considerando el conjunto de dos pistones de la máquina hidráulica en equilibrio y teniendo en cuenta el ligamen con el fluido contenido en los vasos comunicantes, Pascal muestra que el centro de gravedad de los pistones (cuyos pesos son proporcionales a sus superficies) no podría descender y, sin decirlo, se refiere al principio de Torricelli sobre los sistemas pesados. Pero en seguida vuelve a afirmar que es necesario “considerar como muy verdadero que un vaso lleno de agua, al que se han hecho aberturas y cuyas fuerza en estas aberturas son porcionales, están en equilibrio”. Pascal no ha superado explícitamente el estadio de balbuceos en la transposición del principio del *mínimo* entrevisto para los sistemas que pesan.

En cambio, tiene al menos el mérito de legar a la posteridad fórmulas sorprendentes: “Un vaso lleno de agua es una máquina de mecánica para multiplicar las fuerzas”. Pasando de la Hidrostática al peso del aire “que nadie pone hoy en duda”, especula sobre el cálculo de toda la masa del aire que hay en el mundo y lanza a los últimos discípulos de Aristóteles –que le relevaron a duras penas– el desafío de razonar a partir del horror al vacío todos los efectos que explica la presión del aire. Pascal tiene el secreto del estilo y la polémica. Por los pensamientos se sabe que rechazaba el mecanicismo cartesiano.

Aun concediendo a los conceptos cartesianos un carácter juicioso, Pascal prefería un método que consiste en imaginar rápidamente principios generales, la experiencia de los cuales (como el ascenso del agua en el cuerpo de la bomba y el tubo de Torricelli) sean consecuencias más que puntos de partida. Lo que antes hemos dicho sobre la “gran experiencia” confirma en este punto de vista una filosofía del método pascaliano *considerablemente* expresada por León Brunschvicg y Pierre Boutroux.

La ciencia moderna tenderá a dar la razón a Descartes, al menos al Descartes desconocido. La teoría física parte de la experiencia para volver a ella formulando previsiones. Pero en el intervalo es libre de considerar todos los inobservables y todos los elementos abstractos útiles para su análisis y, si esto es a veces penoso, no es menos eficaz ni menos incierto que dar paso al apriorismo de las informaciones generales.

Preguntas de seguimiento y valoración

- 1- ¿Por qué fue importante la noción de equilibrio para los antiguos griegos?
- 2- ¿Cómo funciona el principio de los vasos comunicantes?
- 3- Explica el funcionamiento de los frenos de un carro.
- 4- Explica donde radica el poder de multiplicar la fuerza en una máquina hidrostática.
- 5- Qué sucede con un globo inflado que se sumerge 2 metros bajo el agua?
- 6- Con dos jeringas de distinto diámetro construye una prensa hidráulica.
- 7- Qué aportó el estudio del equilibrio de los líquidos al debate entre plenistas y vacuistas?
- 8- Explica cómo son aprovechados hoy en día los sifones y los fuelles en la industria y la medicina.
- 9- Explica las razones por las cuales un objeto más denso que el agua puede flotar en vez de hundirse, ejemplo, barcos.
- 10- Explica por qué los peces y submarinos pueden subir y bajar en el agua a ciertas profundidades sin dificultad.