



## **EL MISTERIO DEL ACUEDUCTO**

21 de febrero del 2008

### **SINOPSIS**

Hoy intentaremos descifrar por qué los romanos construían los acueductos. Mientras los griegos siglos antes utilizaban conducciones enterradas, ¿por qué los romanos se empeñaban en hacer acueductos? ¿Era un problema hidrostático o hidrodinámico? ¿Acaso no tenían la tecnología suficiente para evitar fugas? ¿O es que simplemente un acueducto es más grandilocuente que una cañería? O quizá la respuesta es más sencilla. Indagaremos y aprenderemos sobre los acueductos.

Para ello echaremos mano de la hidrostática y veremos la teoría de los vasos comunicantes. No, no se trata de lo que un vaso le dice al otro, sino de cómo un líquido pasa de un recipiente a otro. Y aprenderemos cómo podemos aprovechar la física para sacarnos de algún que otro apuro.

Veremos cuál es el principio que hace funcionar los gatos hidráulicos o los niveles de los albañiles y pondremos a Watson en algún aprieto del que solo la ciencia le podrá sacar.

### **QUEREMOS EXPLICAR**

*Los griegos utilizaban canalizaciones enterradas para proveer las ciudades de agua, mientras que los romanos eligieron los acueductos. Con una tubería podemos hacer que el agua suba y salvar grandes diferencias de altura gracias a los vasos comunicantes. En cambio, los acueductos son caros y necesitan un terreno que haga pendiente. ¿No sabían suficiente física los romanos? No es eso, la respuesta está en la química.*



*La teoría de los vasos comunicantes o el principio de Pascal nos dice que la presión que se ejerce sobre un punto de un líquido, se transmite íntegramente y con la misma intensidad en todas direcciones. Es por ello que, cuando dos vasos que están comunicados, igualan sus niveles independientemente de la forma que estos tengan, estén inclinados o no y del diámetro de cada vaso.*

*La teoría de los vasos comunicantes tiene su parte práctica: nos permite mover grandes cantidades de agua desde un depósito a otro sin tener que poner energía externa (motores, turbinas...), levantar el coche con una sola mano (gato hidráulico) y nos ayuda cuando nos quedamos sin gasolina (sifón).*

## **ÍTEMS PRINCIPALES**

### **EL AGUA COMO FLUIDO**

Todos sabemos que el agua es un líquido. Hasta aquí todo perfecto. Pero también es un fluido. ¿Un "fluido"? ¿Y eso que es? El agua o el aire que nos rodea son fluidos. Los líquidos y los gases son fluidos. Esto les confiere unas propiedades distintas a los sólidos. Para entender mejor de qué estamos hablando recurramos a la física. Las fuerzas que hay entre las moléculas de un cuerpo son las que determinan el estado de la materia (sólido, líquido, gaseoso o plasma)

En los fluidos no existen fuerzas recuperadoras, es decir carecen de elasticidad de forma. Para que lo entendamos mejor, se comportan como una cadena. Una cadena adopta la forma que queramos. La cadena la podemos meter en cualquier recipiente y adopta la forma de este, como los líquidos o los gases. Pero en realidad sus moléculas están fuertemente ligadas las unas con las otras, como los eslabones de la cadena. En los gases además, no solo la forma, si no también el volumen son los del recipiente que los contiene.

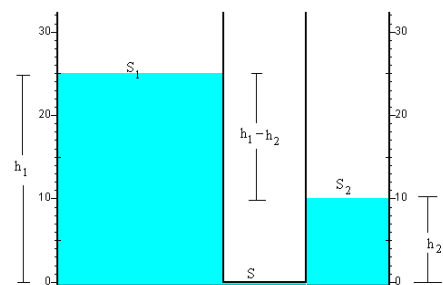


## HIDROSTÁTICA Y PRINCIPIO DE PASCAL

La hidrostática es la ciencia que estudia los líquidos que se encuentran en equilibrio (que no se están moviendo). Debe sus progresos a Pascal quien en 1653 enunció el principio que lleva su nombre: “En un líquido incompresible en equilibrio toda variación de presión se transmite en todas las direcciones”. Verificó experimentalmente este principio Pascal ideando la **Prensa hidráulica**.

De aquí resulta el teorema fundamental de la hidrostática: “En un líquido en equilibrio, la diferencia de presión entre dos puntos es igual al peso de la columna de líquido que tenga por base la unidad de superficie y por altura la diferencia de niveles entre esos dos puntos.” Dicho de otro modo, si tenemos dos recipientes comunicados entre ellos, pero con el grifo cerrado, la diferencia de presión entre ellos depende de la diferencia de altura que hay entre ellos y de la diferencia entre la superficie de los dos recipientes. Al abrir el grifo i si el líquido es el mismo (con agua y aceite no funcionaría), el líquido se equilibra y alcanza alturas iguales en los dos vasos.

Quizás el principio de Pascal suene muy complicado, pero en realidad es muy intuitivo. Veámoslo en un gráfico. Imagina que hay un grifo que impide que el agua circule entre los dos recipientes. Abrimos el grifo. Como la altura del primer recipiente es



mayor que la del segundo recipiente, el peso del líquido del primer recipiente hace que empiece a pasar líquido por el tubo hacia el otro recipiente. La cantidad del fluido en el primer recipiente disminuye para hacer aumentar la altura en el segundo recipiente.

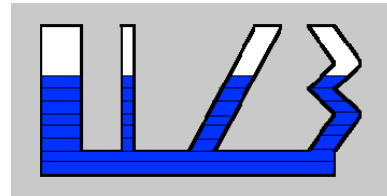


Para visualizar mejor este proceso mira el final de esta página web: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/dinamica/vasos/vasos.htm>. Podrás jugar con las alturas de los tubos y ver que pasa secuencia a secuencia.

Veamos lo mismo con otro ejemplo:

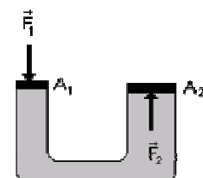
<p>1. Partimos de una situación donde los niveles son distintos. El agua de la zona A pasa hacia la B hasta que...</p>	<p>2. los niveles se igualan. Y ya no pasa nada más, el sistema está en equilibrio.</p>

Los vasos comunicantes igualan sus niveles independientemente de la forma que estos tengan, estén inclinados o no, e independientemente de la sección de cada tubo, como se ve en el dibujo.



Si vale, los niveles del líquido se igualan. ¿Y qué? ¿Es lógico, no? Pues sí, pero los vasos comunicantes esconden otros secretos en situaciones determinadas: cuando los vasos tienen diámetros distintos suceden cosas mucho más interesantes... ¡y útiles! Cuando la superficie del líquido (o el diámetro del tubo, que a efectos prácticos es lo mismo) es distinta y ejercemos una fuerza sobre ella, la fuerza que se transmite al otro lado del vaso no es la misma.

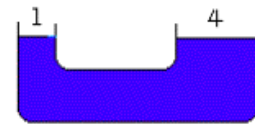
Fíjate en el ejemplo. Si ejercemos una fuerza sobre el líquido del vaso estrecho (tiene menor superficie), la fuerza que se





transmite hasta el otro vaso es mayor, ya que la superficie del segundo vaso es mayor. La presión es una magnitud que depende de la superficie. Si la superficie del vaso 2 es 5, 10 o 100 veces mayor, la presión hacia arriba en el vaso 2 será 5, 10 o 100 veces mayor.

O mejor si lo visualizamos con otro ejemplo: La fuerza ejercida en el vaso de la izquierda genera una fuerza 4 veces mayor en el vaso de la derecha.



¡Tenemos una máquina multiplicadora de fuerza con un poco de agua y un par de vasos! Este descubrimiento si que tiene utilidades, uno de los cuales es la prensa hidráulica.

### **PRENSA HIDRÁULICA**

Esta constituida esquemáticamente por dos cilindros huecos de secciones diferentes y sus bases están unidas mediante un tubo estanco. Los cilindros están llenos de líquido y cerrados en su otro extremo por un embolo. Esto provoca que la presión originada por una pequeña fuerza en el émbolo menor da lugar a una fuerza proporcionalmente más grande en el émbolo mayor. El principio de la prensa hidráulica se aplica en numerosos dispositivos prácticos, como los gatos o elevadores hidráulicos, la grúa hidráulica y los frenos hidráulicos de los automóviles.



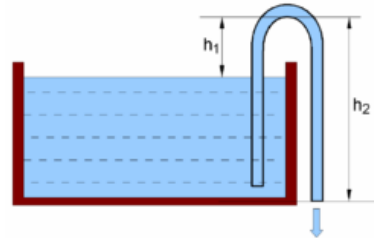
Visualización de como funciona una prensa hidráulica: es un sistema de pistones interconectados. Al aplicar fuerza al pistón más pequeño se elevará el pistón mayor, incrementándose la fuerza, ya que la superficie del líquido en la jeringuilla de la izquierda es mayor.

**Imagen con Copy Right**



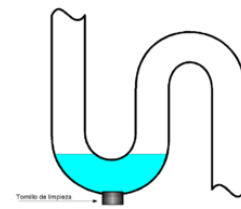
## SIFÓN

Un sifón es un artilugio hidráulico que se utiliza para transvasar un líquido de un recipiente a otro. Consiste simplemente en un tubo que pone en contacto los dos recipientes. Está formado por un tubo, en forma de "U" invertida, con uno de sus extremos sumergidos en un líquido, que asciende por el tubo a mayor altura que su superficie, desaguando por el otro extremo (a un nivel más bajo de la superficie). Para que el sifón funcione debe estar lleno de líquido, ya que el peso del líquido en la rama del desagüe es la fuerza que eleva el fluido en la otra rama.



El sifón no es más que es un sistema de vasos comunicantes y funciona de la misma manera: el agua fluirá del recipiente donde el nivel de agua esté más alto al otro vaso. En el momento en que se igualen los niveles habremos alcanzado el equilibrio. Si queremos que el líquido siga moviéndose sólo tenemos que cambiar la altura de los recipientes.

El sifón ya era conocido por los romanos que lo utilizaban en sus acueductos. Hoy en día nos encontramos sifones es en los desagües de fregaderos, lavabos, inodoros, etc. entre otros... para evitar que el mal olor de las cañerías ascienda por los desagües. Consiste en un tubo en forma de "S" tumbada, de manera que, al desaguar, se llena la primera curva del tubo y la segunda actúa como un sifón, vaciando la primera hasta que el nivel de agua baja y entra algo de aire.



En este momento, el sifón deja de funcionar y retrocede el agua que está en la parte ascendente entre las dos eses, llenando la primera curva del tubo y



aislando el desagüe de los gases de la cañería. La toma de lejía y suavizante de las lavadoras suele ser un sifón.

El sifón es también la parte de la tubería de desagüe de los lavabos y fregaderos que se obstruye con más facilidad. Este elemento esencial de fontanería está formado por un tubo en forma de “s” acostada que lleva un tapón enroscado en la parte más baja.

### **ACUEDUCTOS**

Un acueducto es un sistema o conjunto de sistemas acoplados que permite transportar agua en forma de flujo continuo desde un lugar en el que ésta es accesible en la naturaleza hasta un punto de consumo distante. Son una obra de ingeniería en toda regla. Los sistemas de acueductos romanos eran capaces de suministrar diariamente millones de litros de agua a las principales ciudades del imperio.

Los acueductos son en realidad conductos artificiales por donde circula el agua de un sitio a otro que tienen la finalidad de abastecer de agua una población. Pueden ser subterráneos o no. En el segundo caso pueden descansar directamente sobre el suelo o estar sostenidos por un muro macizo de piedra o por una serie de arcos o incluso por un puente que entonces toma el nombre de acueducto.

En el antiguo Egipto y en Asiria se construyeron acueductos a cielo abierto para los regadíos. Los griegos preferían los canales subterráneos. Y en la época romana los acueductos de arcadas fueron los más frecuentes. Cada acueducto llevaba las aguas hasta un depósito terminal desde donde se distribuía el agua a toda la población.



La ciudad de Roma estuvo abastecida por numerosos acueductos: Aqua Apia, Aqua Marcia, Aqua Julia, Aqua Claudia, Aqua Repula, Aqua Virgo, Aqua Alsietina (hoy Aqua Paola), Aqua Trajana, Aqua Alexandrina, Aqua Antoniniana, Anio Vetus y Anio Novas. El acueducto Aqua Apia fue construido por el año 312 a. C. por orden del censor Apio Claudio. Traía hasta el campo de Marte el agua de una fuente situada a más de 16 Km. En el 272 a.C. se emprendió la construcción de un segundo acueducto, el Anio Vetus, cuyo curso muy tortuoso media 80 km de longitud. Posteriormente se tendió a hacer acueductos de proporciones cada vez más colosales: el Aqua Marcia media 92 km de longitud de los cuales 11 eran sobre arcadas.

Es fácil comprender como funciona un acueducto si lo imaginamos como un conjunto de vasos comunicantes y sifones invertidos. Los depósitos están a distintas alturas y se pueden salvar los valles con sifones.

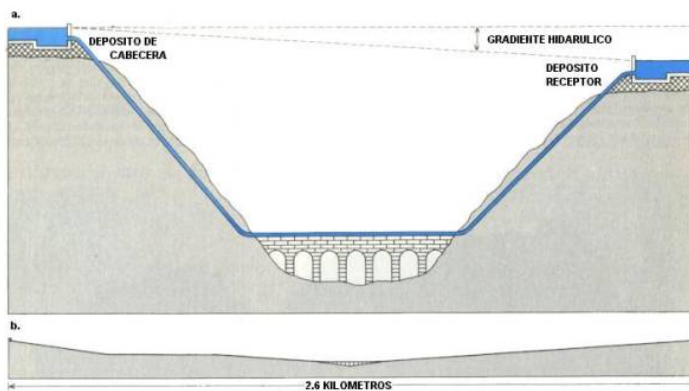


Imagen con CopyRight

Esquema de como funciona un acueducto. La fuerza del agua adquiriría un valor importante en el codo, por lo cual los romanos reforzaban en ese punto las tuberías y lo empotraban. El puente amortiguaba la caída del agua desde el depósito de distribución. El depósito receptor era más bajo que la cabecera, porque de otro modo la fricción con las tuberías impediría que el agua llegase al depósito.

La estructura romana se denomina entonces, sifón invertido, en donde el líquido tiene por lo tanto un recorrido similar a una **U**, pero en el acueducto había que tener en cuenta las pérdidas de altura que sufría el líquido al pasar





por la tubería debido a la fricción. Por lo tanto, el extremo receptor era un poco más bajo que el extremo de arranque.

### **LA RESPUESTA AL MISTERIO**

Y es que los romanos no sabían transportar el agua canalizada en conducciones enterradas. En ellas el agua es transportada en condiciones anaeróbicas y ello hacía que se pudriera. En cambio transportándola por conducciones al aire libre, como los acueductos, el agua circulaba igual que en un riachuelo, es decir en condiciones aeróbicas y llegaba en perfectas condiciones a su destino.

Curiosamente la ignorancia química de los romanos también les salvó de saber que el plomo era tóxico. Gracias a eso los romanos no murieron por envenenamiento y es que hay que tener en cuenta que las conducciones por las que circulaba el agua estaban mayoritariamente hechas con plomo.

Los griegos no tuvieron este problema. Sus conducciones de agua además de ser subterráneas mayoritariamente estaban hechas con cerámica...

### ***ÍTEMS SECUNDARIOS***

#### **¡QUE DESASTRE...ME QUEDÉ SIN GASOLINA!**

A veces nos ocurre, que nos olvidamos de llenar el depósito de combustible de nuestro vehículo. Vamos conduciendo tranquilamente y... acabamos en la cuneta. En estas ocasiones, con un tubo de goma y un conductor solidario hay suficiente. Normalmente, para vaciar un recipiente casi siempre utilizamos la fuerza de la gravedad (la masa de la Tierra tira de la masa del líquido hacia abajo). Para llenar un vaso de agua, inclinamos la jarra y el agua cae por su

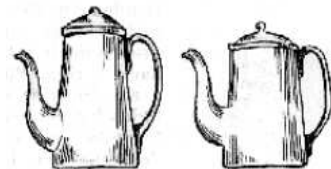


propio peso. Pero no podemos inclinar un coche...Podemos vaciar o llenar un depósito venciendo la ley de la gravedad. Sumergimos un extremo en el depósito lleno (el del conductor solidario) y chupamos por el otro hasta llenar de líquido el tubo. Ponemos el otro extremo del tubo en nuestro depósito. Para que nuestro invento sea eficaz y podamos sacar gasolina del interior de depósito, el extremo del líquido por donde sale el líquido debe estar por debajo de la superficie del líquido contenido en el recipiente que estamos vaciando.

### **EL PROBLEMA DE LAS DOS CAFETERAS**

¿Cual de estas dos cafeteras tiene más capacidad?

Tienen la misma anchura, pero una es más alta que la otra. A primera vista, la más alta debería tener más capacidad. Piensa en los vasos comunicantes y



acertarás. En realidad las dos tiene la misma capacidad. La de la izquierda nunca la conseguiremos llenar hasta el borde, ya que cuando el líquido esté a la misma altura del orificio de salida, empezará a salir. En cambio la de la derecha si que la podemos llenar hasta el borde. Son vasos comunicantes.

### **CONSTRUCCIÓN DE UN SIFÓN CASERO**

Para ello necesitamos:

- Pajitas con codo
- Jeringuilla
- Vaso con agua
- Vaso vacío

Necesitamos construir una "tubería" en forma de U, insertando una pajita en otra, esto se consigue fácilmente si calentamos el extremo de una de ellas para que se ablande el plástico (con agua caliente o acercando suavemente a una llama con cuidado de no quemar la pajita). Doblamos los codos de la pajita



hasta tener la forma deseada. Llenamos un vaso con agua y lo colocamos al lado del otro vaso vacío. Con la jeringuilla llenamos totalmente el tubo que hemos hecho con las pajitas, evitando que dentro queden burbujas de aire. Tapamos con los dedos los extremos y colocamos en forma de U invertida, con cada extremo en uno de los vasos. Inmediatamente el agua empieza a fluir del vaso lleno al vaso vacío, hasta que los niveles de líquido en ellos sean iguales. Cambiando la altura de los vasos podemos transvasar el líquido cuantas veces queramos, solo tendremos la precaución de que no entre aire en el tubo.

### ***LINKS DE INTERÉS***

<http://www.pbs.org/wgbh/nova/lostempires/roman/aqueduct.html> .

<http://webdelprofesor.ula.ve/ciencias/labdemfi/fluidos/html/contenido.html>

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/dinamica/vasos/vasos.htm> Aplicación interactiva de vasos comunicantes.