



baliabideak
material de aprendizaje



La Máquina de Marly

Alain Ulazia

Cuaderno del estudiante

IKD baliabideak 4 (2012)



baliabideak

INDICE

1.	Trabajo de grupo	3
2.	El laboratorio del Rey Sol	4
3.	Ecuación de los Bernoulli.....	7
4.	Ecuacion de los Bernoulli II	10
5.	La fuente de Herón de Alejandría	11
6.	Tipos de presión	14
7.	Líneas de altura total y piezométrica	16
8.	Golpeo contra alabes	18
9.	Motor de vapor de Herón	20
10.	Bombas volumétricas	21
11.	Aplicación a la Máquina de Marly	23
12.	Tubería hasta Versalles.....	26

1. Trabajo de grupo

Cada miembro del grupo tiene información sobre estos temas (*Moodle EHU*). Después de esquematizar la información individualmente debéis compartir los conocimientos e integrarlos.

- 1) Conflictos
 - a) ¿Por qué aparecen?
 - b) Conflictos habituales
 - c) Estrategias para abordar los conflictos
- 2) Gestión de conflictos
 - a) Trucos para evitarlos
 - b) Trucos para resolverlos
 - c) Como tratar algunos problemas
- 3) Resolución de problemas
 - a) El método de los siete pasos
 - b) El método PMI
 - c) El método SWOT

Realizar una normativa de grupo donde conste la firma de los componentes y finalmente también la del profesor. Estas páginas web pueden resultar interesantes:

- Web de Richard Felder, Professor Emeritus of Chemical Engineering at North Carolina State University. Escribe sobre aprendizaje, aprendizaje active y cooperative, etc.
www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public
- Web del centro dirigido por T. Jonhson y David Jonson. Encontraras mucho material sobre aprendizaje cooperativo:

www.co-operation.org

- Grupo de Eric Mazur (Harvard University) dedicada a la investigación sobre docencia (tiene varios trabajos sobre aprendizaje cooperativo)

Mazur-www.harvard.edu/education

- Web del grupo de interés en cooperación (GIAC), organizada por la UPC. Además de materiales de interés general, encontraras otros materiales más específicos (mayormente profesores de la Universidad Publica de Cataluña)

www.giac.upc.es

- *The Schreyer Institute for Innovation in Learning* ofrece una basta información sobre Brainstorming, Comunicación en equipo, Expectativas, Gestión de Conflictos, Resolución de Problemas, dentro del trabajo cooperativo.

www.inov8.psu.edu

2. El laboratorio del Rey Sol

No todas las monarquías de los siglos XVII y XVIII aceptaban que la ciencia era la mejor forma de saber. Muchas seguían creyendo en el crucifijo, los santos y la sangre azul. Pero los Borbones franceses, que reinaban sobre miles de cortesanos alojados en el inmenso Palacio de Versalles, sí confiaron. Y dieron desde ese castillo, convertido en gran laboratorio, un empuje definitivo a la ciencia que revolucionaría el mundo.

El Establecimiento Público del Castillo de Versalles expone, hasta el 27 de febrero próximo, una inmensa muestra, acompañada por filmes de vértigo en 360º, para reconstituir la aventura científica que protagonizaron aquellos reyes. Sale a la luz así el aspecto más desconocido de aquella realeza que brilló oscuramente en toda Europa por sus caprichos, sus excesos de lujo, su tiranía, y que acabó en buena parte guillotizada tras la Revolución francesa.

A partir de 1682 y hasta la Revolución de 1789, *el Palacio de Versalles fue la sede oficial de la monarquía absoluta y, desde esa sede, fue tomando el control una por una de las diferentes academias de ciencias que, dispersas, se habían ido creando por el país que ya empezaba a parecerse, geográficamente y en términos de raciocinio y de inteligencia colectiva, al que hoy conocemos.*

Para garantizar esa centralización que hoy se suele atribuir con demasiada prisa exclusivamente al jacobinismo revolucionario, la realeza tomó una decisión de magnitudes históricas. Concentró en el propio castillo experimentos, demostraciones, laboratorios, ingeniería y, por supuesto, todos los sabios que pilotaban esas ciencias. Los científicos, fundamentalmente astrónomos, cirujanos, botánicos, zoólogos, agrónomos e ingenieros, eran libres de proseguir sus propios trabajos, pero también estaban obligados a participar en el esfuerzo colectivo con el palacio como centro. Además, recibieron encargo oficial de formar a los príncipes herederos y otra prole masculina.

Los resultados de esa centralización se cuentan por centenares en la inmensa muestra, presentes físicamente o reconstituidos mediante imágenes virtuales incrustadas en las filmaciones del palacio, en alta definición.

Todo es sorprendente en esa caverna que remonta a los orígenes de la ciencia. Desde las intervenciones quirúrgicas a las que se sometieron Luis XIV y el hijo de Luis XV, hasta el inmenso jardín de plantas medicinales de Versalles, en el que los sabios de los reyes sistematizaron miles de años de saber de curanderas y druidas.

Descripción del problema: Sin vapor

Dos de los proyectos que lograron realizar los monarcas gracias al trabajo de la comunidad científica pasaron a la historia gráfica de la ciencia y reflejan mejor que otros los avances realizados cuando todavía no existía la máquina de vapor ni el motor de combustión: se trata de la llamada máquina de Marly y el vuelo de Montgolfier.

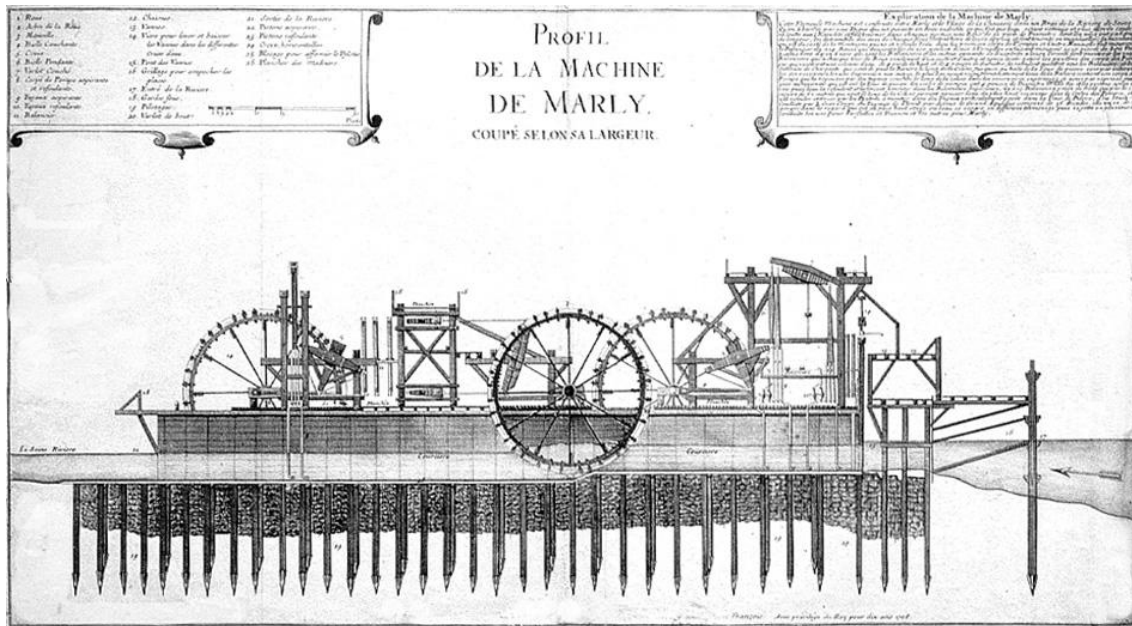
La máquina de Marly simbolizó por sí sola la locura de poder de Luis XIV, el Rey Sol, una locura cimentada en la ciencia, sí, pero una ciencia que no disponía todavía ni de todo el *poder de la máquina de vapor, ni del motor de explosión, ni, por supuesto del átomo.*

Así, sin motores, ¿cómo satisfacer los deseos del Rey Sol de poder celebrar fiestas con inmensas fontanas proyectando agua a decenas de metros de altura? Y eso en un lugar, el Palacio de Versalles, que no tiene aporte natural de agua y que está en lo alto de una meseta que, aunque no es gigante, no es nada desdeñable.

Para lograrlo, los dos ingenieros convocados, Renne-quin Sualem y Arnold de Ville, optaron por subir el agua del Sena nada menos que a 165 metros de altura, a lo largo de 1.200 metros de rampa, hasta el acueducto que luego lo llevaba a los depósitos del palacio. *Nada menos que 9.500 m³ eran así elevados para dos horas y media de espectáculo acuático.*

¿Con qué aporte de energía? Simplemente la de la propia agua: los ingenieros inventaron un sistema basado en la técnica de las norias de primeros del siglo XVI, pero amplificado y gigantesco. Tres microestaciones de bombeo recibían tanto el agua por canalizar, como el empuje, proveniente del líquido que caía desde lo alto de catorce grandes norias de 12 metros de diámetro.

Además del preciado elemento para las fontanas de festividades y fastos, la máquina de Marly suministraba 6.000 metros cúbicos por día para los miles de cortesanos alojados en palacio. Funcionó, con interrupciones, hasta 1817, eso sí, para alimentar con agua a la población civil, gracias a la Revolución. Incluso fue puesta de nuevo en servicio en el Segundo Imperio, a partir de 1852, y funcionó hasta 1963, gracias a un sistema de rendimiento mejorado. *Los intentos de introducir una máquina de vapor para el bombeo demostraron ser menos eficaces que la energía del agua.* La demostración quedó así hecha de que una trayectoria diferente para la ciencia era posible si decidía seguir jugando con los elementos y no recurrir a la humareda y la explosión. Gracias a la locura, científica, de un rey.



Después de leer el artículo trabajar en grupo para:

1. Representar esquemáticamente los elementos clave y el posible modo de funcionamiento de la máquina y apuntar los datos relevantes de dimensionado y capacidad de la máquina en el esquema.
2. Buscar independientemente el valor aproximativo de otras variables que son datos indispensables en el diseño del artefacto. Usar para ello los datos e imágenes que se dan en esta página web:

<http://www.marlymachine.org/>

3. Como referencia tomar este trabajo de un equipo del año pasado:
4. Explicitar de qué variables dependen las magnitudes que necesitamos conocer para *contrastar* si son posibles los logros mencionados en el artículo periodístico. Hay que diseñar una metodología de prueba/refutación para este caso particular.
5. Puesta en común después de una exposición breve de cada grupo.

3. Ecuación de los Bernoulli

Daniel Bernoulli fue el verdadero artífice del proceso creativo que dio lugar a la ecuación más importante de la fluidomecánica. Daniel era médico y físico con un gran bagaje experimental, no como su padre, matemático bien aposentado, *¿Cuál creéis que plagio al otro para apoderarse del honor de haber descubierto la ecuación?*

La pregunta clave estaba en la naturaleza de la presión. Daniel, en su obra bautizada como hidráulico-estática ya se dio cuenta de un hecho relevante: *"la presión del agua en reposo debe ser claramente distinguido de la presión de los flujos de agua, aunque nadie, por lo menos hasta ahora, se ha dado cuenta de ello".*¹

- 1) Compara la frase previa con la creencia común tan extendida que dice que *"el chorro del grifo cuanto más veloz sale más presión te hace en la mano"*. Discutir en grupo la paradoja y la conveniencia de distinguir dos tipos de presión: *presión estática* y *presión dinámica*.

La clave estaba en que la presiones del agua no se podían definir sin haber considerado previamente sus movimientos. En este sentido Bernoulli (hijo) fue el primer experimentador que uso el *manómetro de columna de agua* con esta diferenciación básica en la mente. En estos manómetros se sabía que la altura a la que ascendía el agua era proporcional a la presión del fluido en el punto en el que se conectaba. Daniel observo este hecho curioso de la figura.

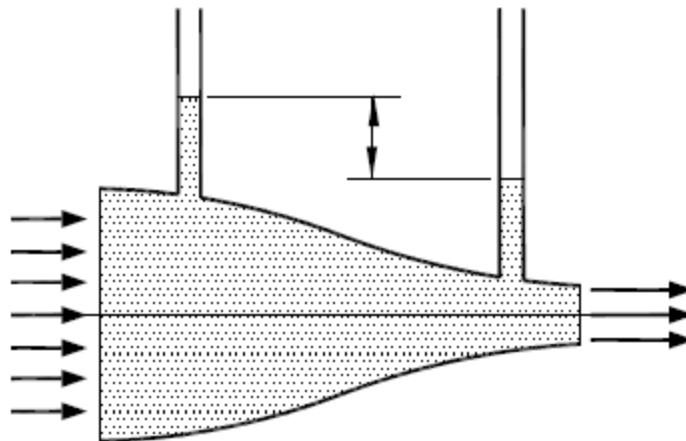


Fig. 1: Manómetro de agua en un estrechamiento

- 2) *¿Cuál es la relación entre el aumento de velocidad y la presión medida por la columna de agua según el experimento? Discutirlo y consensuar en grupo una respuesta cualitativa.*

En la metodología estándar que desarrollo para estudiar la relación presión/velocidad propuso un estudio de movimiento basado en un aparato que

¹ II. &. 17

él uso como modelo. Era un tanque que descargaba agua por una tubería horizontal colocada en fondo como se enseña en la figura.

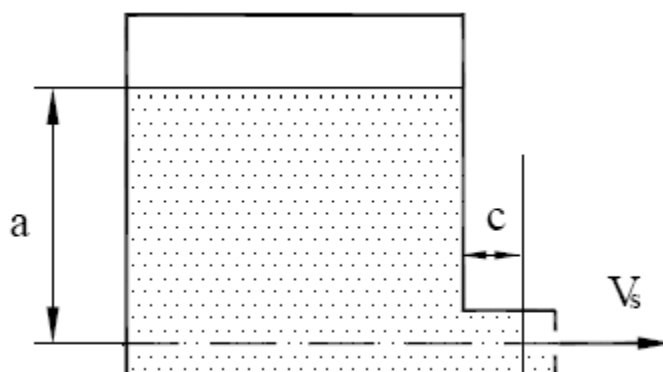


Fig. 2: Descarga de agua desde un tanque.

La diferencia de nivel entre la superficie libre y el orificio se mantenía constante porque el área del tanque era muy grande. Según la ley de Torricelli la velocidad del líquido a la salida será proporcional a la raíz de la altura, y consecuentemente, la velocidad en el tubo (de área mayor), obviamente será menor, proporcional a la relación de las dos secciones por conservación de caudal.

Imaginemos que la parte derecha de la tubería horizontal desaparece repentinamente. Está claro que el líquido en el tubo aceleraría hasta la velocidad acorde con la ley de Torricelli. Así pues, según Daniel, *la presencia de la tapa perforada puede interpretarse como si su acción estuviese comprimiendo y reteniendo el agua, presionándolo contra las paredes y previniendo que se expandiera.*

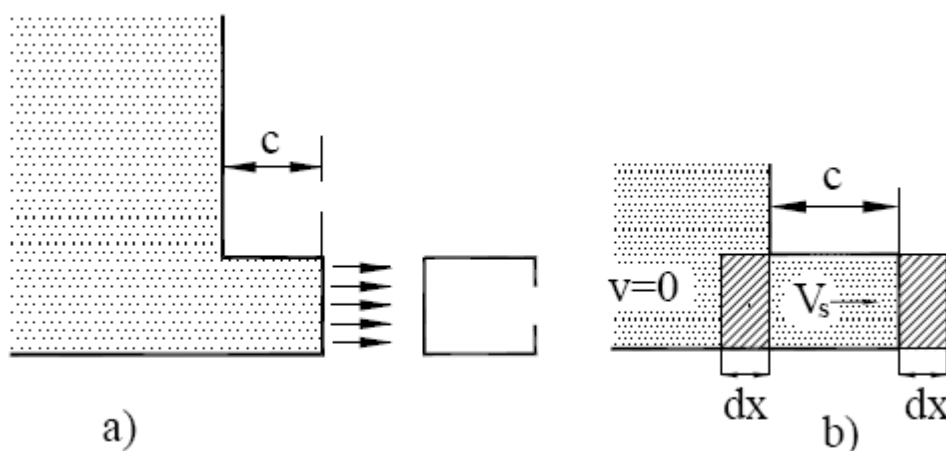


Fig. 3: se quita inmediatamente el tapón de salida

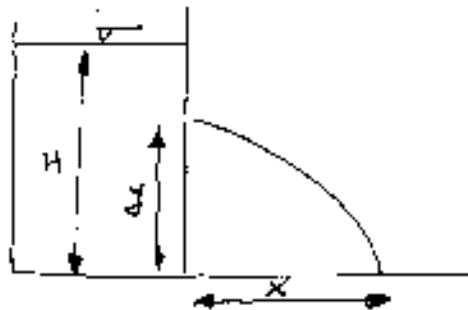
- 3) Discutir el significado de esta última frase y el de la figura para consensuar otra forma de expresarlo con vuestras propias palabras.

Esta presión de retención será mayor cuanto más baja es la velocidad del agua en el tubo, porque *el agua tendrá una mayor capacidad potencial de aceleración a partir de la desaparición del tapón*. El resultado de esta compresión y retención es que el agua es comprimida a lo largo del tubo, y esta presión es transmitida a las paredes laterales. Hay una relación estrecha entre esta contención de presión y la capacidad de aceleración.

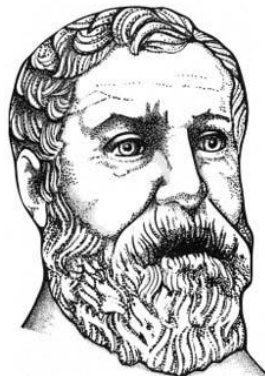
- 4) ¿Cómo podríamos interpretar ahora lo que se ve en la figura 1?

4. Ecuación de los Bernoulli II

- 1) Demostrar que la presión tiene dimensiones de energía partido volumen, es decir, que la presión expresaría cuanta energía tenemos por metro cúbico. De hecho, la ecuación de Bernoulli expresa la conservación de la energía para la mecánica de fluidos. En Mecánica Clásica la conservación de la energía tiene dos términos, la suma de la energía cinética y la potencial debe conservarse.
- 2) ¿Cuántos términos tendrá la ecuación de la conservación de energía en mecánica de fluidos? En un fluido no tenemos una masa puntual aislada, sino que una sustancia distribuida en el espacio. No tiene sentido hablar de masa, ni de energía absoluta; lo que nos interesa es expresar cada término de energía como densidad de energía.
- 3) ¿Cómo quedará la ecuación de Bernoulli en forma de densidad de energía teniendo en cuenta las expresiones clásicas de la energía cinética y potencial? ¿Y la misma ecuación en dimensiones de altura? Una bomba transmite energía al flujo, una turbina, en cambio, absorbe la energía del flujo. También habría que tener en cuenta las pérdidas por fricción dentro de la tubería pues la naturaleza no es ideal ni reversible.
- 4) ¿Teniendo en cuenta todas estas generalidades cómo quedaría entonces la ecuación de conservación de energía para los fluidos?
- 5) Del recipiente instalado sobre el suelo y llenado hasta la altura H , el líquido escurre a través del orificio de la pared. ¿A qué altura " y " debe ser practicado el orificio para que la distancia " x " hasta el lugar de caída del chorro sobre el suelo sea máxima? Determinar esta distancia. Despreciar las resistencias.



5. La fuente de Herón de Alejandría



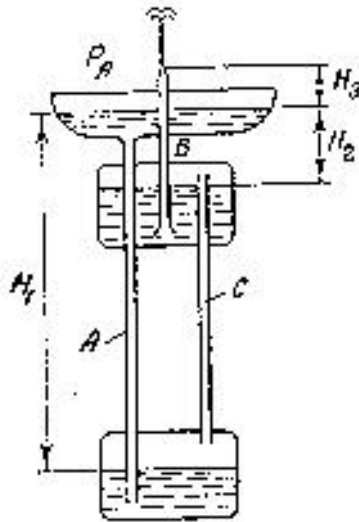
Herón estudió en el siglo I la presión del aire y del vapor, definió las bases del primer motor de vapor y construyó artefactos que impulsaban chorros de agua. Incluso son suyos los primeros esbozos sobre robots.

- 1) En la figura se ilustra el primer motor de la historia, el cual era de vapor. ¿Cómo creéis que funciona?

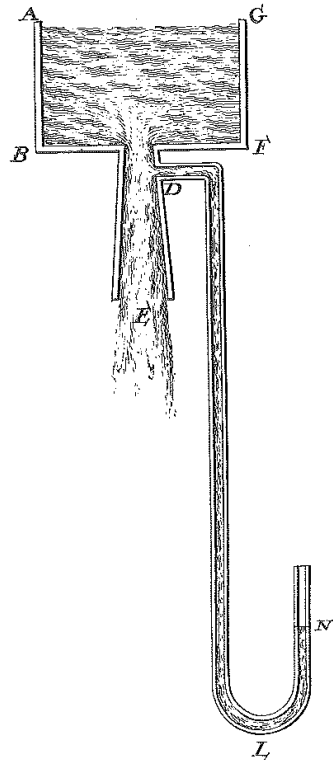


- 2) Otro de sus inventos es conocido como *la Fuente de Herón*, el cual puede encontrarse en sitios tan preciosos como La Alhambra, recuperado por los musulmanes. En la figura va expuesto el esquema del dispositivo.
 - a) Discutir en grupo cómo funciona el dispositivo y llegar a un acuerdo.

- b) Calcular la velocidad de derrame del agua de la boquilla adicional (tobera) de esta fuente, si las dimensiones son: $H_1 = 24$ m.; $H_2 = 4$ m.; $H_3 = 0,4$ m. Despreciar las pérdidas de altura de carga en el sistema y el peso del aire en el tubo C.
- c) ¿Qué altura alcanzará el chorro de la fuente? ¿Qué tendríamos que variar en el diseño para lograr mayores alturas?

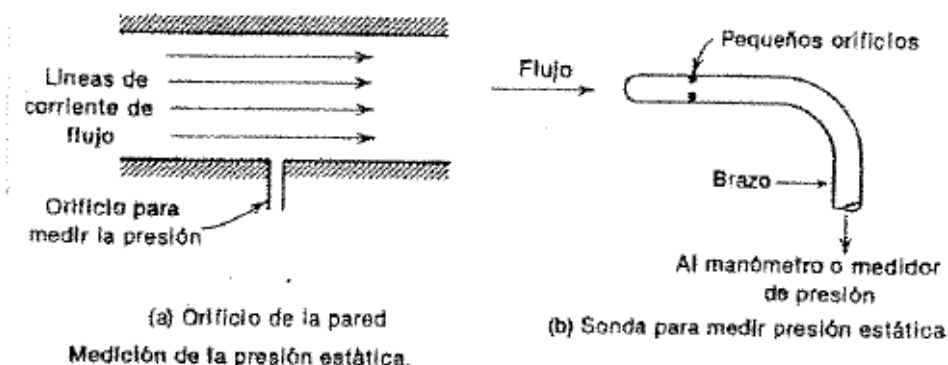


- 3) Daniel Bernoulli el joven fue uno de los primeros investigadores que habló sobre presión negativa dentro de un tubo. La siguiente imagen de su obra fundamental *Hidrodinámica* ilustra este fenómeno (Cap. XII, sección 12). Se ve que el manómetro *DLN* mide una presión negativa. El depósito *ABFG* es lo suficientemente grande como para alimentar continuamente, con flujo permanente, el sistema. Hay un tubo de salida que descarga en *E* cuya conexión con el depósito es más estrecho. Sea n el área de la sección transversal en la conexión y m en *E*. Calcular la diferencia de cota *DN* que alcanzará el brazo izquierdo del manómetro en función de la altura *AE*, n , y m . Suponer que la distancia *DE* es insignificante comparado con la altura *AB* del depósito.

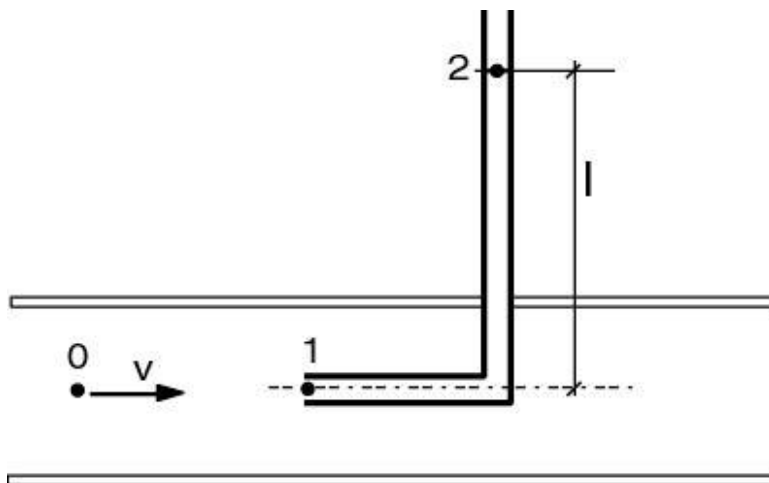


6. Tipos de presión

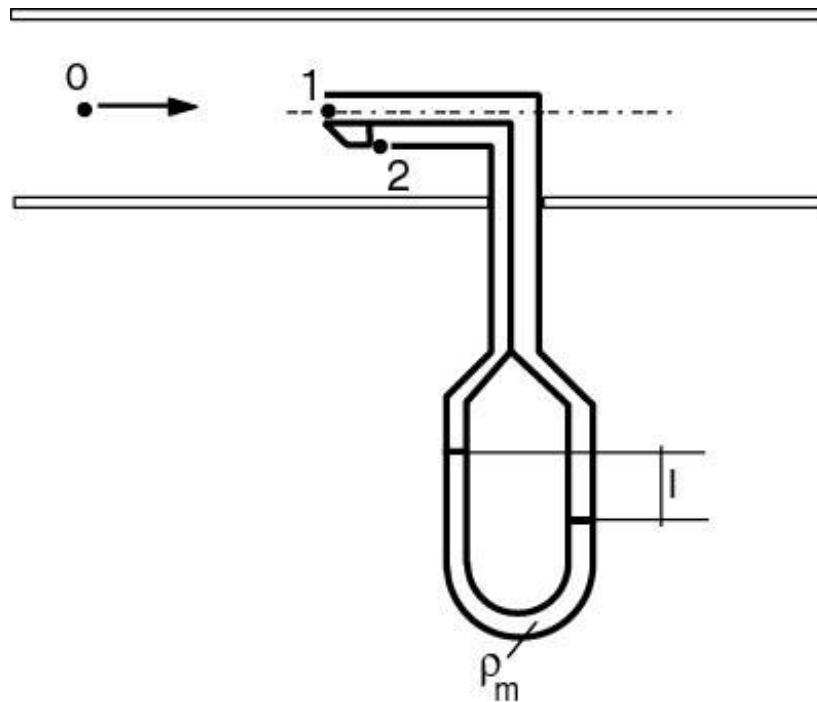
- 1) En estas figuras se habla de la forma de medir una magnitud denominada PRESION ESTÁTICA. Si tomáis en cuenta la forma de presión de la ecuación de Bernoulli, ¿a qué termino creéis que corresponde lo que se denomina como presión estática en estas mediciones?



- 2) En la figura (a) anterior se medía la presión del fluido realizando un orificio perpendicular en la tubería. Podríamos introducir un tubo vertical perpendicularmente a la tubería y observar cuanto sube el fluido (se le llama *piezómetro*). En la figura siguiente tenemos un aparato en forma en L que retiene y estanca el flujo que entra en 1 (por eso se le llama PRESION DE ESTANCAMIENTO). Para el mismo flujo, ¿en cual creéis que se alcanzará una altura mayor, en el piezómetro o en la L? Observad que la energía debe conservarse.



- 3) Al aparato en L se le llama "el tubo de Pitot". Prandtl construyó otro tubo combinando el de Pitot y el piezómetro. La figura siguiente ilustra el tubo de Prandtl. ¿Para qué creéis que lo construyo de este modo? Construir una ecuación que relacione la presión que mide el manómetro diferencial con una magnitud intrínseca (muy importante) del fluido.



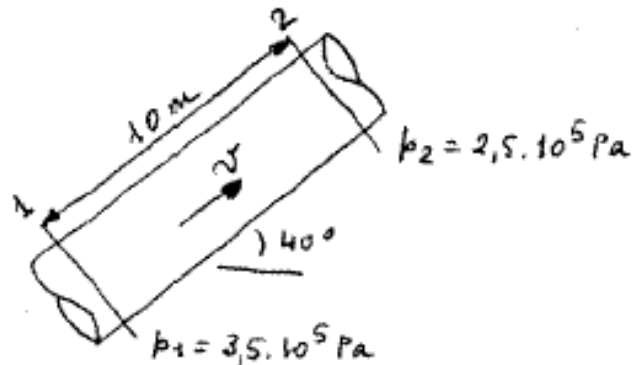
- 4) Titán, luna de Saturno, es el mayor satélite de nuestro sistema solar. Tiene aproximadamente la mitad del diámetro de Tierra, su atmósfera consiste esencialmente de metano (CH_4) y es probablemente el objeto más fácil de explorar en el sistema solar exterior. Cuando el ingenio espacial *Voyager 2* se posó lentamente en la superficie de Titán a través de una atmósfera a -130°C y $8,4 \text{ kPa}$, su tubo de Prandtl indicaba una diferencia presiones de 140 Pa . Calcular la velocidad del *Voyager 2* en km/h .

Nota: masa molecular del metano: 16 kg/kmol .

- 5) Volviendo a la máquina de Marly, pensad en dos formas de medir las velocidades del río Sena en la superficie y a mitad de profundidad. Escribir las ecuaciones correspondientes mediante los parámetros involucrados en cada método que habéis ideado.

7. Líneas de altura total y piezométrica

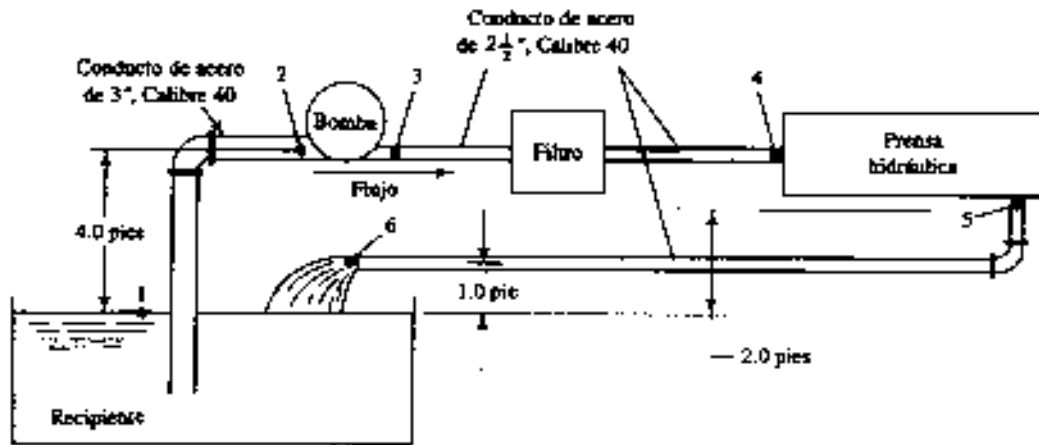
- 1) ¿Cómo sabemos si el agua subirá o bajará en la siguiente tubería? Basado en el ejemplo, consensuar un criterio general para conocer el sentido del flujo en tuberías.



- 2) En la figura se muestra un diagrama de un sistema de potencia de fluido para una prensa hidráulica, utilizado para extrudir partes de goma. Se conocen los siguientes datos:
- El fluido es aceite, $s = 0,93$.
 - El caudal es de 75 galones(USA)/min.
 - La potencia consumida por la bomba es de 21,18 kW
 - El rendimiento de la bomba es del 80 %.
 - La pérdida de carga entre los puntos 1 y 2 es de 2,80 pies de aceite.
 - La pérdida de carga entre los puntos 3 y 4 es de 28,50 pies de aceite.
 - La pérdida de carga entre los puntos 5 y 6 es de 3,50 pies de aceite.

Calcular:

- Calcular la altura manométrica dada por la bomba al fluido.
- Calcular la pérdida de carga en la prensa, así como la potencia que obtiene la prensa del fluido.
- Calcular la presión en los puntos 2, 3, 4 y 5.
- Dibujar las líneas de alturas piezométricas y totales de la instalación.
- Señalar si son adecuadas las velocidades en los distintos tramos



8. Golpeo contra alabes

1) Objetivo: Conseguir la expresión de la fuerza ejercida por un chorro sobre diferentes tipos de álabes, sobre todo sobre el plano, el cual indicará la fuerza ejercida por el río sobre las palas de la noria de Marly.

2) Montaje



3) Material y aparatos de medida

- Banco Hidráulico
- Cronómetro
- 3 álabes diferentes
- Masas

4) Procedimiento de trabajo: Nivelar el aparato sobre la base del banco hidráulico con la ayuda del nivel de burbuja y las patas regulables. El agua sale de la boquilla y, tras incidir sobre el álabe, sale por los agujeros de la base. Medir el diámetro de la boquilla: 8 mm. Calibrar el punto de referencia graduable. Para

cada álabe, realizar 4 medidas para distintos caudales. Colocar pesas hasta equilibrar la fuerza ejercida por el chorro. Anotar volumen y tiempo. Repetir el procedimiento para los tres álabes.

5) Resultados:

- Calcular la fuerza experimental ejercida por el chorro sobre cada uno de los álabes y el caudal.
- Obtener asimismo las fuerzas teóricas y compararlas con las obtenidas de forma experimental. Para todo ello, cumplimentar la siguiente tabla para cada álabe:

Medida	V	t	masa
1			
2			
3			
4			

- Expresar gráficamente *Fuerza vs. Caudal*. ¿Qué tipo de curva es? Por otro lado, y análogamente, mediante el cálculo dimensional encontrar la forma de la expresión de la fuerza en función de la densidad del agua, el caudal y el área de salida del chorro.

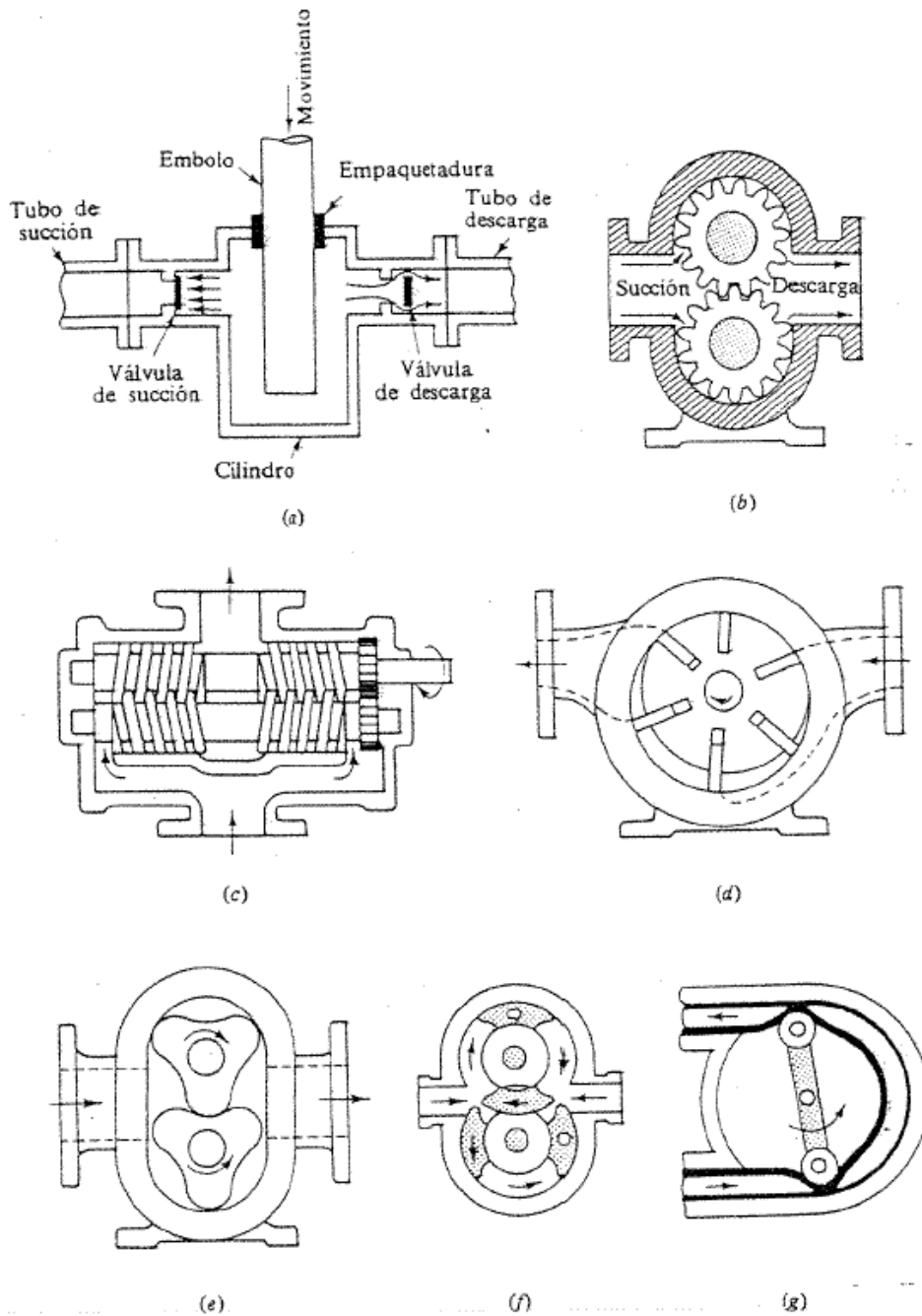
9. Motor de vapor de Herón

Recordad el primer motor de la historia, el de Herón. Supondremos que el vapor está a $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ y que la esfera que contiene el vapor tiene 50 cm de diámetro. Los dos tubos en L sobresalen 5 cm de la superficie de la esfera y tienen un diámetro interior de 5 mm . El agua que hemos metido antes de calentar el sistema tenía la mitad del volumen de la esfera.



- 1) Calcular el par de fuerzas en el eje en el instante en el que el motor empieza a girar. En mecánica se demuestra fácilmente que la potencia en el eje de un motor es igual al producto del par y la velocidad angular (éste se indica normalmente en revoluciones por minuto).
- 2) Demostrar que esta expresión tiene dimensiones de potencia, y compararlo con la potencia desarrollada por un vehículo que avanza a una cierta velocidad realizando una fuerza F .
- 3) Demostrar que la potencia máxima en el eje ocurre cuando la velocidad punta del motor es la mitad de la velocidad de salida de vapor y calcular esa potencia.
- 4) Trasladar estas conclusiones a la noria de Marly.

10. Bombas volumétricas



1) Discutir en grupo como funcionan las siguientes bombas. Pensar cómo podríamos adaptar la bomba (a) al *sistema de Marly*.

2) Fijaros en la válvula de succión y en la de descarga. ¿Cuál es la función que cumplen dentro de la bomba?

- 3) Conseguir una regla simple que relacione el caudal de descarga con las características y dimensiones de la bomba. Indicar cómo y de qué dependerá ese caudal si el embolo realiza n ciclos/min.

- 4) En una bomba volumétrica giratoria el caudal ideal depende de la *cilindrada*. Este parámetro es muy importante y conocido; se mide en cm^3/rev . ¿Cómo estarán relacionados el caudal y la cilindrada?

11. Aplicación a la Máquina de Marly

1) Teniendo en cuenta los datos del artículo y el esquema de funcionamiento que consensuamos y considerando que,

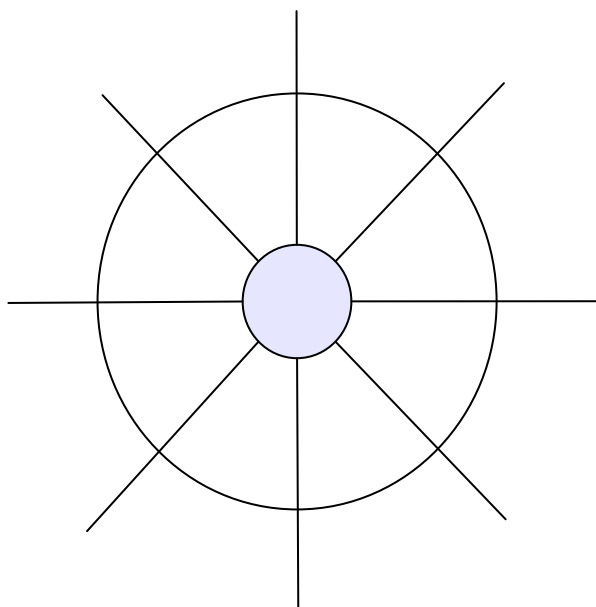
- la velocidad en un río suele ser aproximadamente de 1 m/s,
- el rendimiento de una noria medieval y su transmisión de biela era del 10%; aunque en este caso, paradójicamente, la energía hidráulica de río se convierta también en hidráulica (de bombeo) consideraremos este porcentaje para todo el proceso.
- Aplicar la ecuación de golpe contra alabes y la de Bernoulli para comprobar si la energía transmitida al flujo era suficiente para conseguir los caudales a las alturas mencionadas.
 - Para el cálculo de caudal relacionar la cilindrada de las bombas y su carrera con la frecuencia de giro de la noria.
 - En cambio, para el calcular la altura manométrica de bombeo encontrar la potencia que está generando la noria y tener en cuenta la eficiencia.

2) Calcular finalmente cuanta energía nos ahorraríamos con este sistema comparándolo con una bomba eléctrica moderna (rendimiento del 80%) que consiguiese hacer lo mismo.

- Suponer que el impacto del flujo con la pala de la noria encuentra una desviación de 90° y recordad (como hemos demostrado en teoría) que el rendimiento máximo la noria se da cuando la velocidad punta de esta es la mitad de la del flujo.
- Suponer que el cociente *brazo corto/brazo largo* de la palanca oscilante es $1/6$ y que el cociente de *los radios plato/noria* es de $1/4$.
- Las bombas volumétricas tenían un diámetro de 1 m.

Relación de los radios en la noria

$$r/D = 1/1$$

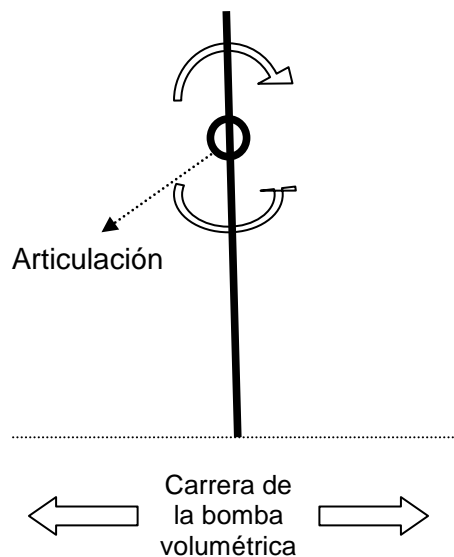


Relación de los brazos de la palanca

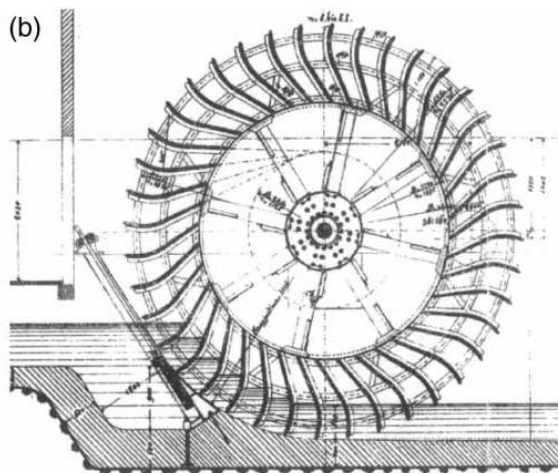
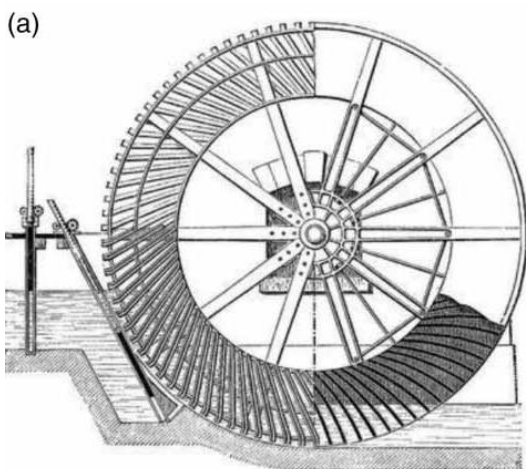
$$l/l = 1/6$$

Rendimiento

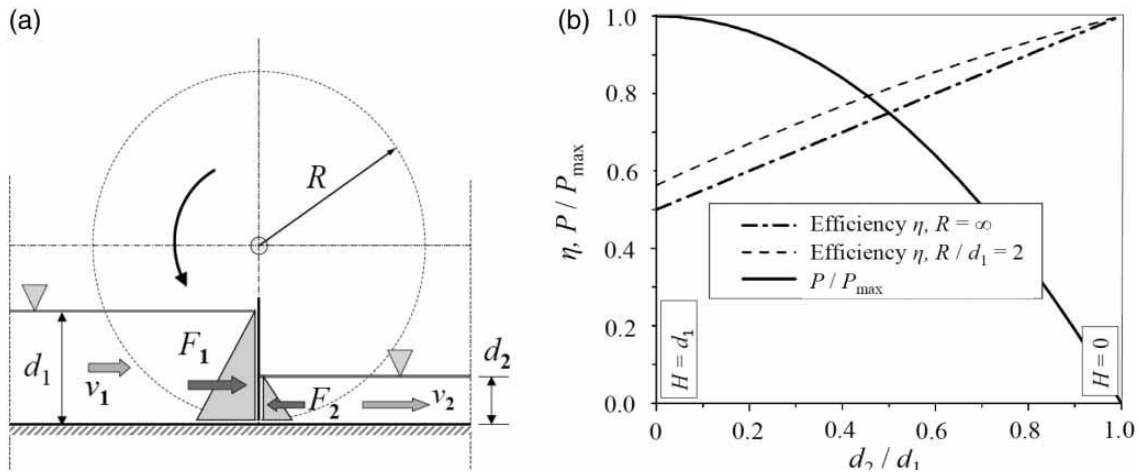
$$\eta = 10\%$$



3) Observad estas norias o ruedas hidrostáticas de 1905. ¿Cómo creéis que consiguen generar una potencia mecánica significativa si el salto de agua es tan pequeño?



Quizá el siguiente diagrama (a) os ofrezca una idea de los que sucede. ¿Cuál es el principio de funcionamiento?



4) Partiendo del modelo explicativo se puede obtener la expresión que nos describirá la eficiencia del aparato. Leer cuidadosamente este artículo de *Hydraulic Reserach* que trata el asunto:

<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00221686.2010.529301>

Describir con vuestras propias palabras en proceso deductivo del investigador en las páginas 705-6.

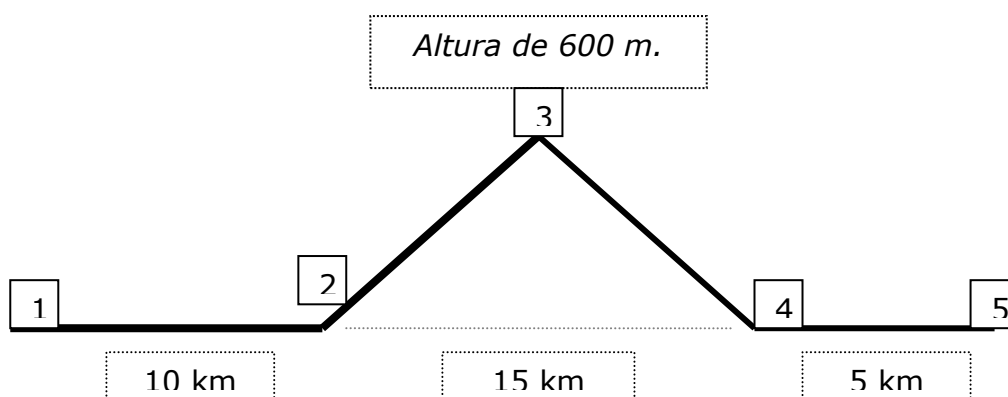
12. Tubería hasta Versalles

Una tubería ha sido diseñada para conducir agua desde el Sena hasta Versalles. El proyecto original consistía en un túnel a través de una montaña entre los *puntos 2 y 4* de la figura. El proyecto original no tenía bombas ni turbinas en la región mostrada en la figura. La presión manométrica en el *punto 1* (donde se encuentra la Máquina de Marly) en este proyecto era de 7 kg/cm^2 y en el *punto 5* (Versalles) era capaz de levantar el chorro de las fuentes del jardín a 35 metros (suponer que el aire no imprime ningún rozamiento al chorro). El caudal es de $28,3 \text{ m}^3/\text{s}$ y el tubo tiene 3 m de diámetro.

- 1) Hacer un croquis y dibujar las líneas de alturas totales y piezométricas entre los *puntos 1 y 5* suponiendo que el tubo es horizontal.

Pero se detectaron movimientos en la falda de la montaña que amenazaban la tubería interior. Se decidió entonces que el eje de la tubería debería trazarse siguiendo la superficie de la montaña (según se puede apreciar en la figura), para facilitar su reparación en caso de desperfectos. (Suponer que la montaña de 600 m de altura puede ser representada por un triángulo isósceles).

- 2) Explicar por qué es necesaria una bomba para esta segunda ruta y calcular la potencia que la bomba debe transmitir al agua cuando el gasto es de $28,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Por cuestiones de seguridad la presión manométrica en la tubería, en la cima de la montaña, no deberá ser menor de 1 atm. Suponer que la presión en el punto 1 permanece en 7 kg/cm^2 .
- 3) Dibujar la línea de alturas totales entre los puntos 1 y 5 para la ruta según la superficie de la montaña.





Ulazia, I. (2012). La Máquina de Marly – IKD baliabideak 4 -<http://cvb.ehu.es/ikd-baliabideak/ik/ulazia-4-2012-ik.pdf>



Reconocimiento – No Comercial – Compartir Igual (by-nc-sa):No se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original.