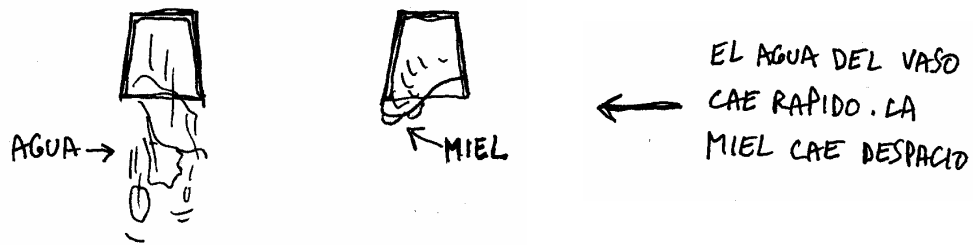


VISCOSIDAD

La viscosidad vendría a ser algo así como el grado de " pegajosidad " que tiene un líquido. Hablando un poco más claro te diría que la viscosidad es el rozamiento que tienen los líquidos.

Cuando pensás en un líquido con viscosidad tenés que imaginarte que hablamos de miel, de glicerina, de caramelo derretido o de algo por el estilo.

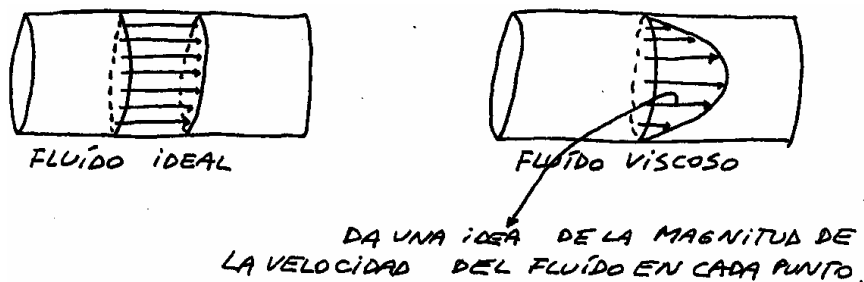
Viscosidad es lo que tiene la miel. Fijate que es como pegajosa. Le cuesta fluir. La miel se pega en todos lados. Si volcás un vaso con agua, el agua se desparrama inmediatamente. En cambio si das vuelta un tarro con miel, la miel no se cae enseguida.



Si vos querés saber a ojo que viscosidad tiene un líquido, tenés que ponértelo en la mano. Si se escapa rápido entre los dedos, tiene poca viscosidad (agua). Si se escapa despacio tiene mucha viscosidad. (Miel, shampoo, etc)

Cuando tiro agua a la pared, la pared queda mojada. Si el agua no tuviera viscosidad la pared quedaría seca. El agua no se pegaría porque no tiene viscosidad. La adherencia de un líquido a las paredes depende de la viscosidad.

Fijate lo que pasa cuando un fluido ideal avanza por un tubo. Fluido ideal quiere decir líquido sin viscosidad. Comparemos esto con lo que pasa cuando tengo en el caño un fluido viscoso. (= con rozamiento). Mirá los dibujitos :



El líquido ideal (= sin rozamiento) viaja por el caño lo más tranquilo. No se frena.

Todas las partículas van a la misma velocidad. En cambio el líquido viscoso se deforma y se pega a las paredes del tubo. En el medio del caño va más rápido y cerca de las paredes va más despacio porque se frena.

Voy a definirte el COEFICIENTE DE VISCOSIDAD. Se lo llama " eta " (?). Este coeficiente da una idea de la fuerza que hay que hacer para " deformar " al fluido.

$$\eta: \text{COEFICIENTE DE VISCOSIDAD}$$

↖
Se pronuncia
"eta"

$$1 \text{ poise} = 0,1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{s}$$

$$[\eta] = \text{poise}$$

$$1 \text{ poise} = 0,1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{seg} (= 0,1 \text{ Pa} \cdot \text{seg})$$

Eta me daría algo así como la resistencia que opone un líquido a fluir. Vendría a ser una medida de cuánto se frena el líquido cuando circula por un caño. Cuanto más grande sea Eta, mayor será el rozamiento con las paredes. O sea, este coeficiente es un número que da una idea de la tendencia que tiene el líquido a pegarse a las paredes de un caño.

Una cosa que tenés que saber es que la viscosidad de los líquidos depende mucho de la temperatura. A mayor temperatura, el líquido es mas fluido. Es decir, la viscosidad disminuye. Dicho de otra manera, a medida que la calentás, la miel se hace más líquida.

Pregunta: ¿ La sangre tiene viscosidad ?

Rta: Sí, tiene. Pero es bastante chica. La viscosidad de la sangre es un poco mayor que la del agua. Lo mismo pasa con la viscosidad del plasma sanguíneo.

Una aclaración: Viscosidad **NO ES** densidad. Un líquido puede ser muy denso pero poco viscoso. (El mercurio, por ejemplo).

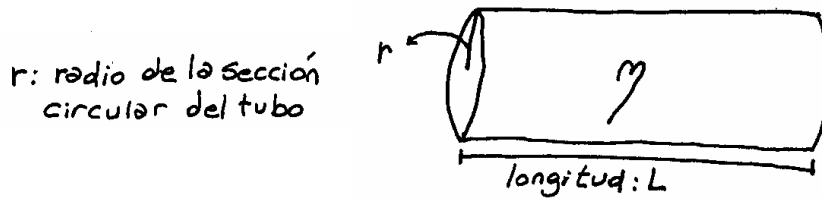
Otra aclaración: Si bien la unidad de viscosidad es el Poise, no uses esta unidad para resolver los problemas. Usá Pa x Seg. (1 Poise = 0,1 Pa x Seg)

RESISTENCIA HIDRODINÁMICA (Importante)

Supongamos que tenés un tubo por donde circula un líquido. Te dicen que el líquido es viscoso y tiene coeficiente ?. Al líquido le cuesta avanzar por el caño. Hay que empujarlo para que se mueva. Es decir, el líquido quiere avanzar y el caño lo frena.

Entonces inventamos una cosa que se llama RESISTENCIA HIDRODINAMICA.

A esta magnitud se la indica con la letra R o R_H . Esta resistencia me da una idea de "cuánto le cuesta" al fluido moverse dentro del tubo.



La fórmula para calcular la resistencia hidrodinámica es esta :

$$R = \frac{8 \eta \cdot L}{\pi r^4} \quad \leftarrow \text{RESISTENCIA HIDRODINAMICA}$$

En esta fórmula η es el coeficiente de viscosidad (Pa x Seg). L es la longitud del tubo (m). r^4 es el radio del tubo en metros elevado a la 4^{ta}. (m^4)

Las unidades de esta resistencia hidrodinámica quedan medias raras :

$$[R] = \frac{\text{Pa} \cdot \text{seg}}{m^3} \quad \leftarrow \text{UNIDADES DE } R.$$

Fijate una cosa: la resistencia hidrodinámica cambia si cambian las medidas del tubo. (Es decir, si cambian la longitud L o el radio r). Pero ojo, porque aunque el caño sea siempre el mismo, la Resistencia hidrodinámica cambia según el líquido que vos pongas. Esto pasa porque R_H depende también del coeficiente de viscosidad, y cada líquido tiene su propio η .

IMPORTANTE: Abajo en la fórmula figura el valor $p \cdot R^4$. Pero resulta que $p \cdot R^2$ es la superficie del tubo. Entonces agarro la fórmula y multiplico arriba y abajo por PI .

Me queda:

$$R_H ? \frac{p}{p} \times \frac{8 \cdot ? \cdot L}{p \cdot r^4}$$

$$R_H ? \frac{8 \cdot p \cdot ? \cdot L}{p \cdot r^2 \times p \cdot r^2}$$

Es decir:

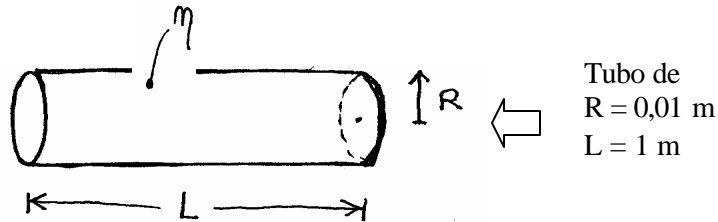
$$R_H ? \frac{8 \cdot p \cdot ? \cdot L}{\text{sup}^2}$$

← OTRA FORMULA PARA LA RESISTENCIA HIDRODINAMICA

En esta fórmula " sup^2 " es la superficie del tubo al cuadrado.

EJEMPLO: CALCULAR LA RESISTENCIA HIDRODINAMICA DE UN TUBO DE RADIO 1 cm Y LONGITUD 1 m.

Rta: Hagamos un dibujito y pensemos lo siguiente :



La Resistencia hidrodinámica no es una propiedad solo del tubo. Es una propiedad del tubo y del líquido que por él circula. Quiere decir que así como está, el problema no se puede hacer. No lo puedo resolver porque no me dan la viscosidad del líquido. Para solucionar el asunto supongamos que el tubo es una arteria y que el líquido que circula es sangre. La viscosidad de la sangre a 37 grados centígrados es $2 \times 10^{-3} \text{ Pa} \times \text{seg}$. Entonces:

$$R_H ? \frac{8 \cdot ? \cdot L}{p \cdot r^4}$$

Reemplazo por los valores y me queda:

$$R_H ? \frac{8 \times 0,002 \text{ Pa} \times \text{seg} \times 1 \text{ m}}{p \times (1/100 \text{ m})^4}$$

$$\text{✍ } R_H = 509.295 \text{ Pa} \times \text{seg} / \text{m}^3$$

LEY DE POISEUILLE

Fijate ahora como se calcula el caudal que circula por el tubo. Para calcular Q se usa la siguiente fórmula, conocida como **Ley de Poiseuille**. (Dicen que este nombre se pronuncia " poisell " o " Puasell ")

$$\Delta p = RQ$$

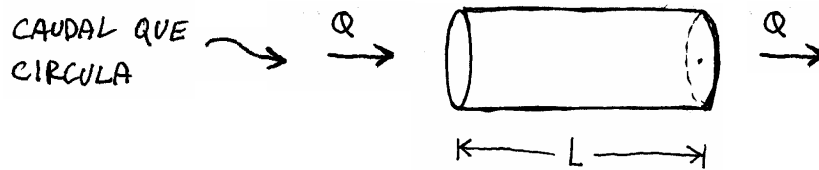
← Ley de Poiseuille

En esta fórmula :

? **P** es la diferencia de presión entre la entrada y la salida. (Pa).

R es la resistencia hidrodinámica ($\text{Pa} \times \text{seg} / \text{m}^3$)

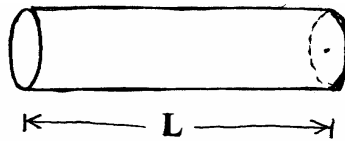
Q es el caudal que circula en $\text{m}^3 / \text{segundo}$.



EJEMPLO:

CALCULAR EL CAUDAL QUE CIRCULA POR UN TUBO QUE TIENE RESISTENCIA HIDRODINAMICA = $100 \text{ Pa} \cdot \text{seg} / \text{m}^3$ SI LA PRESIÓN A LA ENTRADA ES DE 100 Pa Y LA PRESIÓN A LA SALIDA ES 20 Pa .

Solución: Hago un dibujito y aplico la fórmula de Poiseuille :



$$\Delta P = R_H \cdot Q \Rightarrow Q = \frac{\Delta P}{R_H}$$

$$\Rightarrow Q = \frac{100 \text{ Pa} - 20 \text{ Pa}}{100 \text{ Pa} \cdot \text{seg} / \text{m}^3}$$

$$\Rightarrow \boxed{Q = 0,8 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}} \leftarrow \text{CAUDAL QUE CIRCULA}$$

TUBOS EN SERIE Y EN PARALELO (Importante)

RESISTENCIAS EN SERIE

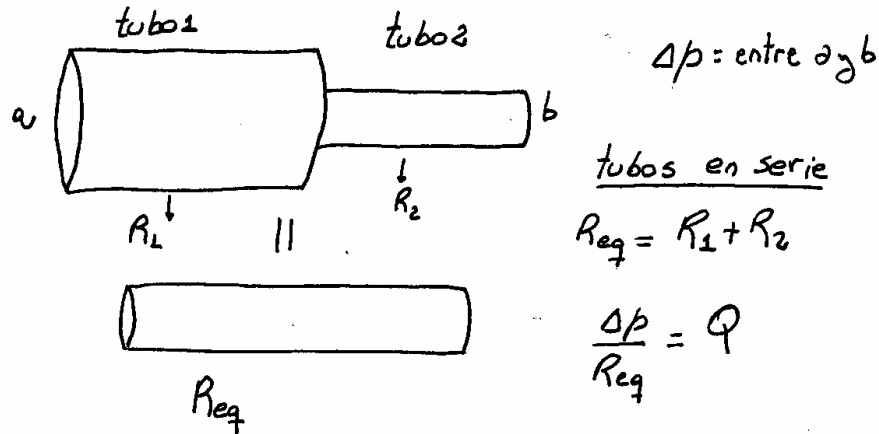
Fijate lo que pasa cuando tengo dos tubos uno detrás del otro. A esto se lo llama conexión " en serie ". Los tubos pueden tener distinto largo y distinto diámetro.

Dentro de los caños hay un fluido que tiene viscosidad. La pregunta es :

¿ Qué resistencia hidrodinámica tiene el conjunto de los 2 tubos ? ¿ Puedo reemplazar a los 2 tubos por uno solo que tenga una resistencia hidrodinámica equivalente ?

O sea, la idea es buscar la resistencia equivalente de los dos tubos. Se la llama resistencia equivalente o resistencia total. (R_{EQ} o R_T).

Supongamos que el tubo 1 tiene una resistencia R_1 y el tubo 2 tiene una resistencia R_2 .



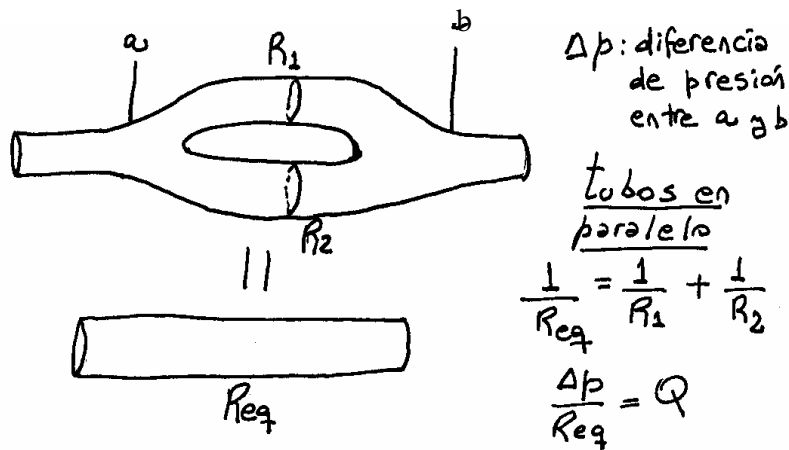
Para dos tubos en serie, la resistencia equivalente sería la suma de las resistencias. Es decir el caudal que fluye por estos dos tubos es equivalente al que fluiría por un solo tubo con una resistencia igual a la suma de las 2 resistencias.

Este mismo razonamiento se aplica para cualquier cantidad de tubos conectados en serie (se suman las R). Es decir:

$$R_T = R_1 + R_2 \quad \leftarrow \text{RESISTENCIAS EN SERIE}$$

RESISTENCIAS EN PARALELO

Vamos ahora a tubos en Paralelo. Fijate. Tengo una conexión en paralelo cuando pongo los tubos uno al lado del otro de esta manera:



En este caso, la resistencia total está dada por:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \leftarrow \text{RESISTENCIAS EN PARALELO}$$

Para tres tubos conectados en paralelo con resistencias R_1 , R_2 y R_3 me quedaría :

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Y lo mismo va para muchos tubos conectados en paralelo. (1 sobre la R total es la suma de las inversas de todas las resistencias).

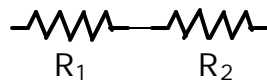
Quiero que veas una fórmula que se usa bastante. Si a vos te dan 2 resistencias en paralelo y despejás de la fórmula, te queda esto:

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

← FORMULA PARA
2 RESISTENCIAS
EN PARALELO.

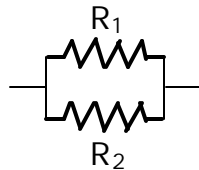
Esta fórmula se usa bastante porque ya tiene la R_{TOTAL} despejada. Ojo, esta expresión es para **DOS** resistencias. Si tenés 3, no sirve. (Y otra vez ojo, para 3 resistencias NO se puede hacer $R_1 \times R_2 \times R_3 / R_1 + R_2 + R_3$).

NOTA: Para dibujar las resistencias de los tubos en serie o en paralelo se suelen usar estos dibujitos que pongo acá. Conviene recordarlos porque los mismos dibujitos se usan después en electricidad.



Resistencias en serie:

$$R_s = R_1 + R_2$$



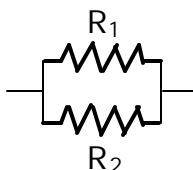
Resist. en paralelo

$$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

EJEMPLO:

CALCULAR LA RESISTENCIA HIDRODINAMICA PARA DOS TUBOS CONECTADOS EN PARALELO CUYAS RESISTENCIAS HIDRODINAMICAS SON $R_1 = 10 \text{ Pa} \times \text{Seg}/\text{m}^3$ Y $R_2 = 5 \text{ Pa} \times \text{Seg}/\text{m}^3$

SOLUCION: Hago un dibujito y aplico la fórmula para resistencias en paralelo :



$$\frac{1}{R_T} ? \frac{1}{R_1} ? \frac{1}{R_2} \quad ? \quad \frac{1}{R_T} ? \frac{1}{5} ? \frac{1}{10}$$

$$? \quad R_T ? 3,33 \text{ Pa} \times \text{Seg} / \text{m}^3$$

POTENCIA

A veces piden calcular la potencia que se gasta para hacer circular un líquido viscoso. Se habla de potencia gastada, potencia consumida o de potencia que hay que entregar.

Esta potencia es la energía disipada por el rozamiento por unidad de tiempo. Es energía que se libera en forma de calor. En hidrodinámica la fórmula para calcular la potencia es:

$$\boxed{Pot = Q \cdot \Delta P} \quad \leftarrow \quad \text{POTENCIA (EN WATTS)}$$

En esta fórmula Q es el caudal que circula. Va en m³/seg. Delta P es la diferencia de presión entre la entrada y la salida. Va en Pascales. P es la potencia en Watts. (1 Watt = 1 Joule/seg)

Hay dos formas más de calcular la potencia. Como por ley de Poiseuille ? $P = Q \times R_H$, puedo reemplazar en la fórmula $Pot = Q \times P$ y me queda :

$$\boxed{Pot = \frac{(\Delta P)^2}{R_H} \quad \sigma \quad Pot = R_H \times Q^2} \quad \leftarrow \quad \text{OTRAS 2 FORMULAS PARA CALCULAR LA POTENCIA}$$

TRABAJO REALIZADO O ENERGIA CONSUMIDA

A veces piden calcular el trabajo realizado por una bomba o la energía consumida. (Es lo mismo). Para calcular eso se usan estas fórmulas:

$$\boxed{L = E_{erg} = \Delta P \cdot Vol} \quad \leftarrow \quad \text{TRABAJO REALIZADO o ENERGIA CONSUMIDA}$$

En esta ecuación, **Delta P** es la diferencia de presión (Pa) y **Vol** es el volumen de líquido que circuló (m³). Otra manera de calcular lo mismo es con esta otra fórmula :

$$L = E_{\text{erg}} = \text{Pot} \times \Delta t$$

En esta fórmula **Pot** es la potencia consumida en watts y delta t es el tiempo que pasó en segundos.

EJEMPLO:

- a) -CALCULAR LA POTENCIA QUE DEBE TENER UN MOTORCITO DE MANERA QUE PUEDA REEMPLAZAR AL CORAZON EN SU FUNCION DE BOMBEAR SANGRE.
b) -CALCULAR EL VALOR DE LA R_H PARA TODO EL SISTEMA CIRCULATORIO.

DATOS:

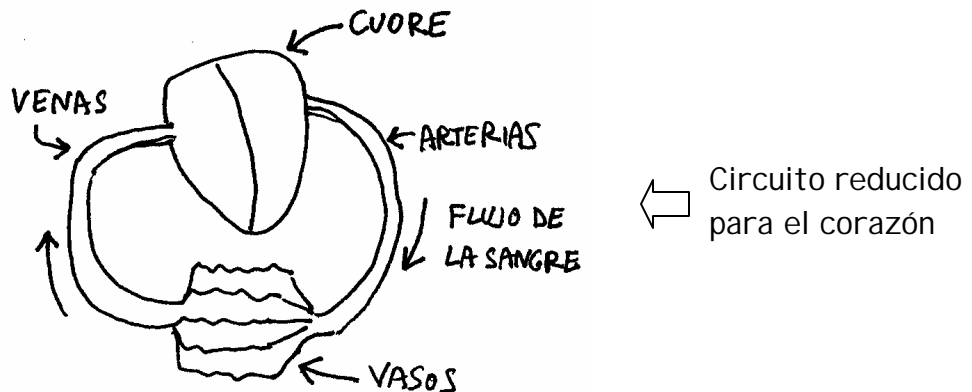
CAUDAL QUE BOMBEA EL CORAZON: $Q = 5 \text{ litros/min}$

PRESION A LA SALIDA DE LA AORTA = 13.000 Pa

PRESIÓN A LA ENTRADA DE LA VENA CAVA = 1.000 Pa .

La cosa es así: el corazón se comporta como una bomba. Toma sangre y la impulsa para que circule venciendo el rozamiento que tiene la sangre con las paredes de las venas y las arterias.

Todo este asunto de hacer circular la sangre le crea un gasto de energía al cuerpo. Al dividir esta energía por el tiempo empleado, tengo la potencia en Watts. Hagamos un dibujito simplificado del sistema circulatorio.



(Me llegan a ver en la facultad de medicina con este dibujito y me matan). Pero bueno, sigamos. Calculo el caudal que bombea el corazón. El caudal en m^3 por segundo es :

$$Q = (5/1000) \text{ m}^3 / 60 \text{ seg} \quad \text{✍} \quad \underline{Q = 8,334 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{seg} .}$$

El ? P entre los 2 lados del corazón es:

$$? P = 13.000 \text{ Pa} - 1.000 \text{ Pa} \quad \text{✍} \quad \text{? } P = \underline{12.000 \text{ Pa}}$$

Calculo la potencia que genera el corazón : $Pot = Q \times ? P$

$$Pot = 8,334 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{seg} \times 12.000 \text{ N} / \text{m}^2 \quad \text{✍} \quad Pot = 1 \text{ Joule/seg}$$

$$\text{✍} \quad \underline{Pot = 1 \text{ Watt}}$$

Rta: El motorcito que reemplace al corazón tendría que tener una potencia aproximada de 1 Watt.

b) Voy a calcular la resistencia hidrodinámica para todo el sistema circulatorio:

$$\text{Por ley de Poiseuille:} \quad ? P = Q \times R_H$$

Yo había calculado el delta Pe y me había dado 12.000 Pascales. El caudal bombeado por corazón me había dado $Q = 8,334 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{seg}$. Entonces:

$$R_H = ? P / Q$$

$$R_H = 12.000 \text{ Pa} / 8,334 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{seg}$$

$$\text{✍} \quad \underline{R_H = 1,44 \times 10^8 \text{ Pa} \times \text{seg} / \text{m}^3}$$

NOTA: Estos datos son reales para una persona que está más o menos quieta.

Fin Viscosidad