

CONCEPTOS BASICOS DE MECÁNICA DE FLUIDOS

Vamos a ver conceptos básicos de mecánica de fluidos. Veremos algunos conceptos y realizaremos ejercicios, para comprender mejor estos conceptos.

La mecánica de fluidos la podemos dividir en:

- a. Estática de los fluidos
- b. Dinámica de los fluidos

a. Estática: Nos sugiere algo en reposo, los fluidos en reposo. Pero un fluido en reposo no existe. El hecho que esté algo en un vaso y lo dejemos mucho tiempo quieto, lo dejamos con respecto al vaso, con respecto a la mesa, pero nuestra tierra se va desplazando por el universo de tal manera que el reposo absoluto no existe. Es un reposo relativo a la tierra. Los fluidos, por tanto, están en un movimiento uniforme. Todas las moléculas del fluido se están desplazando a la misma velocidad, en la misma dirección, en el mismo instante. Entonces son equilibrios relativos. Podemos decir en la práctica, que todos esos cuerpos en movimiento uniforme, tienen un equilibrio relativo.

b. La dinámica son los fluidos en movimiento. Digamos no uniforme, pero si bien no tenemos la concepción de un fluido estático en forma absoluta, se dan varias situaciones que son importantes.

En la clase anterior veíamos el concepto de **viscosidad**, decíamos que los esfuerzos cortantes eran igual al coeficiente de viscosidad absoluto dinámico, con una gradiente de velocidad ¿qué pasa si el fluido está en forma estática?, ¿en movimiento uniforme?, ¿puede existir un gradiente de velocidad, vale decir, una diferencia de velocidad entre las moléculas? No. Por lo tanto cuando la condición es estática es CERO.

$$\tau = \mu \cdot \frac{\delta y}{\delta x} \quad \tau = \mu \cdot 0 = 0$$

Entonces en condición estática esto es = 0 (no hay esfuerzos cortantes).

Esto es sumamente importante para lo que vamos a ver a continuación. En la condición estática no tenemos esfuerzos cortantes y esto nos saca un peso de encima.

Concepto de Presión. Gracias a esto, no entraremos a realizar deducciones, porque no interesa mayormente, sino que vamos a ir a resultados.

Si tenemos un fluido y elijo un punto a una cierta profundidad (h) es fácil demostrar la presión en ese punto, por ser una condición estática, la que es igual en todas las direcciones. Ese punto es como un erizo y todas sus púas convergen hacia el centro, hacia el origen del punto. Las púas tienen la misma longitud y esa longitud la llamamos presión.

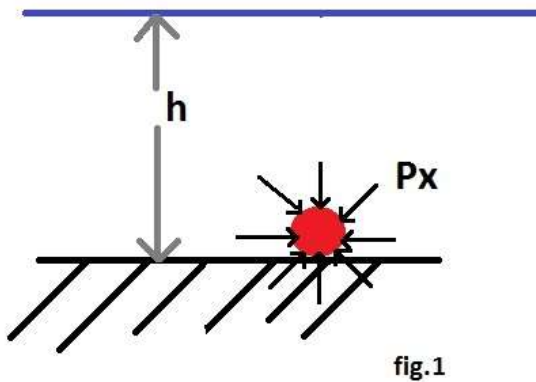


fig.1

Entonces la presión es igual al peso específico del líquido por la profundidad. Esto es sumamente importante en todo lo que tiene que ver con la estática de los fluidos.

$$P = \gamma \cdot h$$

Si la densidad es constante en un líquido, la presión es igual a gama (γ = peso específico del líquido) x la profundidad del punto que nosotros estemos considerando. (h)

Ahí nosotros podemos decir que h es = a la presión partido por el peso específico del líquido.

$$h = P/\gamma$$

Entonces una manera de expresar una presión es a través de una columna de líquido.

Si tenemos una presión equivalente a 5 metros de columna de agua, se tiene una presión equivalente a "n" milímetros (la presión atmosférica, 760mm de la columna del mercurio). Hay una relación directa entre presión y altura del líquido, conociendo naturalmente el peso específico de ese líquido.

La unidad de presión es fuerza partido por área. $P = F/A$ [N/cm²]

Una fuerza puede expresarse en kilo partido por m² [kg/m²], kilo partido por cm² [kg/cm²], o libra partido por pulgada². También podemos hablar de presión en metros, longitudes o columnas de líquido. Cuando hay presiones muy pequeñas, como las de un

ventilador, generalmente son de $\frac{1}{4}$ " de columna de agua o 6mm de columna de agua. Las presiones pequeñas las expresamos como una altura de líquido. Habitualmente usamos el agua o el mercurio, pero podría ser cualquier otro líquido.

Presión sobre un muro. Si tenemos un líquido, que presiona sobre un muro, la presión a medida que aumenta la profundidad crece linealmente. La presión en cualquier punto debe ser gama por esa profundidad.

$$P = \gamma \cdot h$$

Entonces la carga que está sufriendo este muro, es menor en la parte superior que en la parte inferior y además no es necesario que este volumen de líquido sea muy grande horizontalmente, en el ancho, podría ser pequeño.

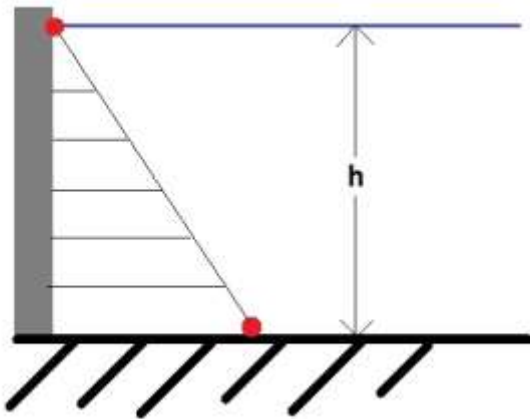


Fig 2

Vamos a poner un ejemplo, yo tengo un terreno y construyo un muro, por alguna circunstancia entró agua, ¿Cómo se distribuye la presión? No depende del volumen de agua horizontalmente, en el ancho, sino que depende de la profundidad.

Cuando se construye un muro de contención se le hacen agujeros, para que escurra el agua y no se acumule.

Yo que soy aficionado a la mecánica, construí un foso para el automóvil. Un maestro me hizo las paredes con ladrillos y le colocamos un plástico para que la humedad no pasara al pozo. Le pedí que rellenara con tierra el hueco entre el muro con el polietileno y la excavación, echándole agua para que se asentara la tierra. El maestro dejó el plástico pegado a la excavación y no al muro. Luego el muro se partió ¿era un muro muy profundo? No, tenía de profundidad 1.80mt. ,pero la fuerza era tremenda, así que se

partió hacia el interior del foso, incluso también en los extremos. Se acumuló una columna de agua, e hizo que la presión sobrepasara los límites de resistencia del muro.

Otro ejemplo es el de las piscinas, cuando quedan vacías tienden a partirse, porque no tienen la presión interior que contraresta la exterior. Sucede también con los estanques de combustible que flotan si llueve mucho. Una empresa grande aquí en la V región, instaló unos estanques de agua, colocándolos en un ambiente cerrado, bajo tierra, con una losa de cemento encima. Llovió, se metió agua por algún lado alrededor de los estanques, todavía vacíos y flotaron rompiendo la losa. Esto es por la fuerza de flotación que se generaba. Es un tema que hay que acordarse siempre, **la presión depende de la profundidad del líquido, no del volumen del líquido que se use.**

Muro represa. Como ejemplo veamos un muro. ¿Cuál es la fuerza que se está desarrollando? Es el peso específico del agua por una altura y por un área.

$$F = \gamma \cdot h \cdot A$$

¿Pero qué altura voy a usar si esto está lleno de agua hasta un cierto punto? Naturalmente la presión es pequeña arriba y grande abajo. Si queremos conocer la fuerza total debemos tomar una presión media, como si estuviera uniformemente repartida. Esta presión media en todo el muro, se llama la **presión en el centroide**. La altura también es la **altura centroide**.

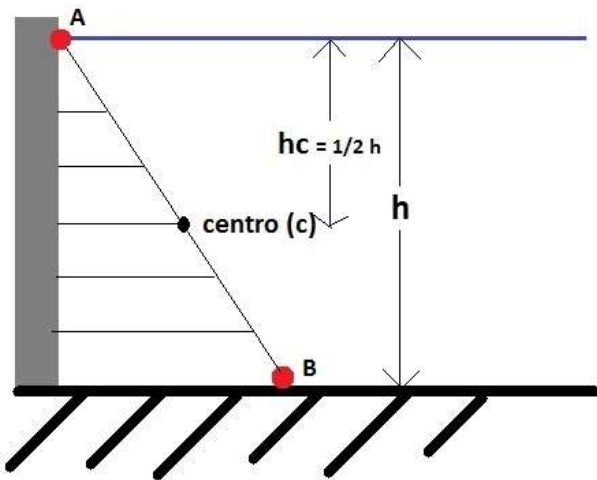
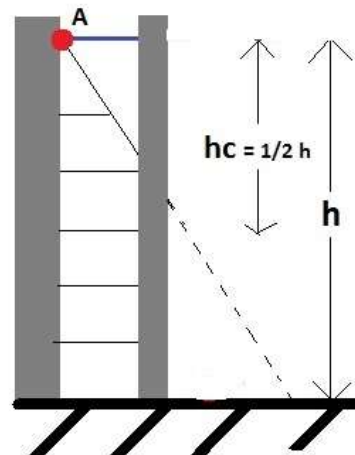


Fig.4

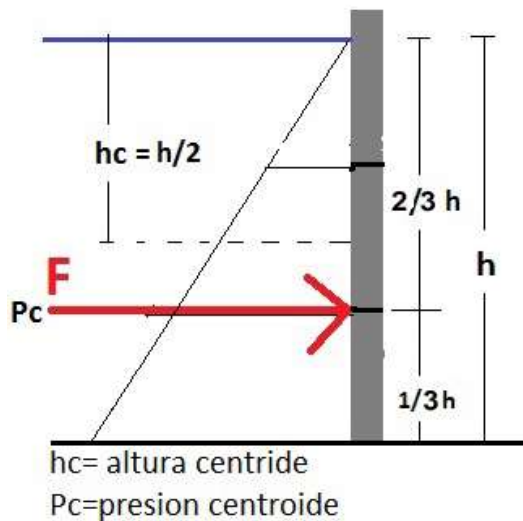


Fig

3

Entonces la presión media multiplicada por el alto nos da la presión total. ¿Cómo puedo determinar dónde está aplicada esa presión? Cuando es una figura como la que tenemos en la gráfica es relativamente fácil.

Si tenemos algún líquido como en Fig.5, la distribución de presión es en **F**, se puede demostrar que ese valor h_c está ubicado a $\frac{1}{2}$ de la base o $\frac{1}{2}$ bajo la superficie. Si "h" es la altura total, P_c está a $\frac{1}{3}$ de la base y por lo tanto a $\frac{2}{3}$ de la superficie.



Este es el caso más simple. La fuerza sobre el muro que quiero determinar comienza en la superficie y termina en el fondo. Podría ser que no termine en el fondo y que se quiera saber hasta algún otro punto cuál es la presión.

¿Entonces mi distribución de presión será la que muestra la Fig.5? Si, h_c siempre estará a un $\frac{1}{3}$ de la base o a $\frac{2}{3}$ del vértice de arriba.

Si es otra figura y tengo que buscar cuál es su *centroide*..... Por ejemplo Fig.6: tengo un muro y una compuerta y queremos saber la fuerza sobre la compuerta para saber si resiste.

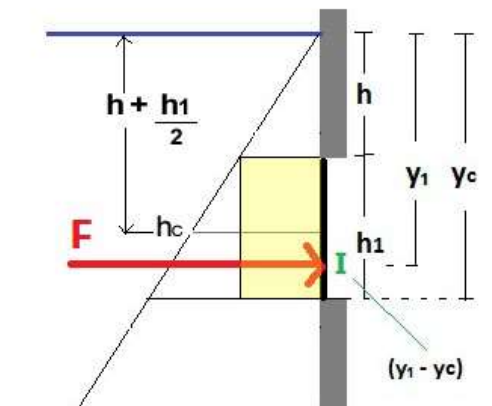



Fig 6

Entonces tengo que buscar el h_c que le corresponde a esa compuerta y la distribución de presiones. Pero en la compuerta, la parte que la altera es “el rectángulo amarillo”  solamente. La fuerza que se genera es F .

Tengo el rectángulo (amarillo), el centroide de ese rectángulo es h_c , vale decir, el centroide h_c está a la mitad de altura de h_1 , o sea $\frac{h_1}{2}$, y la fuerza está aplicada en F . F viene a ser el centro de presión donde está aplicada la fuerza y en h_c coincidiría con el centroide del área.

Es la presión media la que está ejerciendo el fluido sobre la pared, F .

Volviendo a la fig. 5, la presión general se llama h ¿por qué h ? el h total ¿Y dónde está el valor medio? En F está la presión media y si es la presión media que lo llamé p_c ,

$$p_c = \gamma \cdot h_c, \quad h_c = \frac{h}{2}$$

¿Si esto es lineal dónde está la presión media? – a mitad de altura – pero como esta distribución de presiones no es uniforme la fuerza se aplica en F , la fuerza queda aplicada a mayor profundidad y esta es la fuerza que esta aplicada a un tercio de la base. Siempre que sea un triángulo.

En la fig.6 es diferente, porque no es un triángulo. ¿Cuánto vale la fuerza?

Tengo que obtener cual es la altura de la compuerta, a esto lo llamo h_1 y sobre la compuerta hasta la superficie lo llamaré h , entonces ese punto medio de la compuerta será $h+h_1/2$.

$$\text{Entonces } F = \gamma \cdot \left(h + \frac{h_1}{2} \right) \cdot A$$

El A (área) va a ser h_1 por la profundidad que tenga

¿Dónde va a estar aplicada esa fuerza? Yo podría pensar que el area se compone de un triángulo y un rectángulo (fig.6), la fuerza en el rectángulo está aplicada en su centro, pero la parte que le corresponde al triángulo está más abajo (a un tercio).

Pero lo que le corresponde, podríamos obtenerlo por proporción donde queda F , la fuerza va a estar aplicada ya no a un tercio de ese triangulito, sino que va a estar más arriba y ese punto a que está aplicada se le llamará I' .

$$\text{Donde } I' = (y_1 - y_c), \quad (y_1 - y_c) = \frac{IRR}{\gamma c \cdot A} = \frac{\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^2}{\gamma c \cdot A}$$

Siendo **IRR = momento de inercia** y en un rectángulo ese momento de inercia es $\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^2$ (b = base del rectángulo / h= altura del rectángulo)

¿Qué es y_c ? es vertical, $y_c = h_c$. y_c es la distancia desde la superficie hasta el centroide.

Cuando el muro está inclinado se nos complican las cosas, ahí es distinto. La vamos a trabajar como superficie vertical.

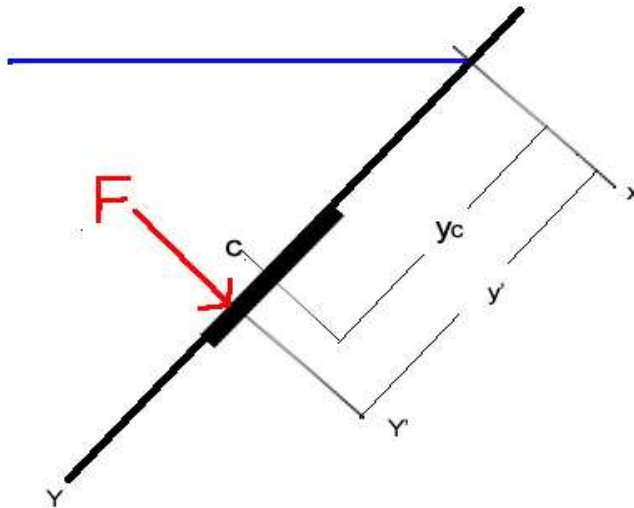


Fig.7

La distancia de **X a C es y_c** . Ahora queremos analizar esta situación en un muro cualquiera inclinado. Entonces elegimos un eje de coordenadas que tiene su origen en **X** y abajo en **Y**, entonces la distancia que hay de X hasta el C centro es y_c . Y la distancia que hay hasta el lugar donde se aplica la fuerza se llama **Y'**, de ahí sale eso. Es porque se ha elegido un sistema de coordenada que está justo en el nivel del líquido, nivel del líquido real o virtual. A veces puede hasta ser un recipiente cerrado que está a presión. Si está a presión, hay que destapar y al destaparlo, el nivel del fluido que está adentro crece o aumenta.

Ahora cuando el muro es vertical **y_c** coincide con **y'** , entonces esta diferencia $y' - y_c$ me dice cuánto más abajo está aplicada la presión con respecto al centroide del área. En esta expresión esta diferencia siempre es positiva, porque el momento de inercia no puede ser negativo. Ni el y_c , ni el área son negativos, así que esta diferencia es siempre positiva. Por lo tanto, lo que podemos decir, es que el centro de presiones es donde está aplicada la fuerza, siempre está a mayor profundidad que el centroide del área ¿Cuál sería el límite cuando esto sea 0? ¿Pero cuándo es 0? Cuando el muro está horizontal. Entonces la presión también está aplicada justo en el centroide del área, ahí sería 0 ¿Cuál es la situación más desfavorable? Generalmente es cuando el muro es vertical, porque ahí esta diferencia es máxima. Cuando el muro se va inclinando esta diferencia se hace cada vez más pequeña

¿Cuándo se hace más pequeña ? Cuando está a mayor profundidad. Como aquí está y, si crece va a ir siendo más profundo. El centro de presión se va acercando hacia el centroide ¿Por qué se va acercando? Fíjense en Fig.6, con la profundidad que sucede con ese rectángulo: crece si yo lo tomo más abajo. En cambio el triángulo permaneció igual.

La aplicación de la fuerza cada vez se va acercando más hacia el centroide del área. Se hace nula cuando la superficie es horizontal y va disminuyendo esta diferencia a medida que aumenta la profundidad ¿Cuándo es máxima? Cuando la pared es vertical y está más cerca de la superficie, porque en este caso predomina la parte triangular, así que manda el triángulo y el centroide del triángulo siempre al centro de la base.

Veamos unos números ¿Qué gracia tiene lo estático? Que es bastante exacto, lo que uno calcula corresponde a la realidad con muy pocas diferencias. En cambio en la dinámica uno realiza las cosas teóricamente y en la práctica pueden ser muy distintas, uno se las arregla después para tratar de acercarse.

Presión con distintos líquidos. Veamos primero lo siguiente:

Si tomamos 15 metros de profundidad en un punto: uno toma agua dulce, otro toma agua salada, otro toma algún aceite.

(*buscar en tabla entregada en clases la densidad, pagina 5)

- a. agua dulce a 20º su densidad es 9,98
- b. agua salada la densidad es 1.023
- c. aceite del 30 su densidad es 918.

¿Cuál sería entonces la presión que yo tendría a 15 mts. con estos distintos líquidos?

Presion(P) =	densidad ρ	x	gravedad g	x	profundidad h	=		
P agua dulce =	998,0	x	9,80665	x	15	=	146805 [Pa]	= 1,46805 [bar]
P agua salada =	1023,0	x	9,80665	x	15	=	150483 [Pa]	= 1,50483 [bar]
P aceite SAE 30 =	918,0	x	9,80665	x	15	=	135037 [Pa]	= 1,35037 [bar]
	Kg/m ³		m/s ²		m			

*para convertir en bar dividido 10⁵.

$$P = \frac{kg}{m^3} \times \frac{m}{s^2} \times m = \frac{kg}{m^2} \times \frac{m}{s^2} = \frac{N}{m^2} = Pa (Pascal) \quad *No olvidar que 1Newton= Kg \times \frac{m}{s^2}$$

La diferencia es relativamente pequeña. La presión con agua salada es mayor que con agua dulce, pero la profundidad tampoco es mucha, pero si la profundidad aumentara a 150mt, P agua dulce serían 14.6, P agua salada = 15 y P aceite SAE 30 =13.5, hay diferencia.

Esta pequeña diferencia, cuando se está trabajando sobre una superficie, generalmente hay fuerzas que no son tan pequeñas, que multiplican ese pequeño efecto de la presión.

El pascal es tan pequeño que la presión atmosférica son 101.325 pascales, son cifras enormes a pesar de que el BAR no pertenece al sistema internacional, sí el Pascal, pero se acepta para usarlo como unidad.

De hecho los manómetros vienen en BAR, es raro que vengan en pascal. Si lo pongo en cm^2 tiene mejores valores numéricamente.

A pesar de que la profundidad es la misma, la densidad influye en el valor de la presión.

Veamos ahora una pared vertical, yo quiero conocer que valor toma con agua dulce. Supongamos que tiene esos mismos 15mt. de profundidad y el muro tiene una longitud de 6 mt.

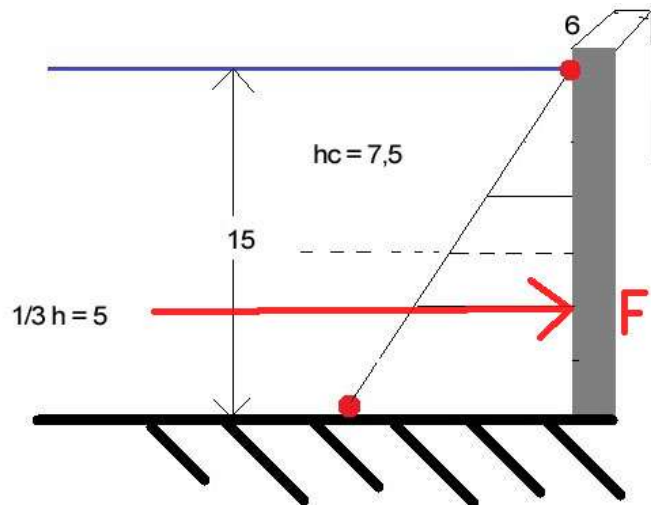


Fig.8

Primero veamos ¿Cuál es la fuerza?

$$F = \gamma \cdot hc \cdot A \quad (\text{peso específico} \times \text{altura centroide} \times \text{el área})$$

$$\gamma = (998 \times 9,80665) \quad hc = \text{mitad de } 15 = 7,5\text{mt.} \quad A = 15\text{mt} \times \text{los } 6\text{mt de profundidad.}$$

Entonces,

$$F = (998 \times 9,80665) \times (7,5) \times (15 \times 6)$$

$$= 6606249,7[\text{N}] = \frac{6606249,7[\text{N}]}{9,80665[\frac{\text{N}}{\text{Kp}}]} = 673650 [\text{Kp}] \quad (\text{se quiso transformarlo a kilopond})$$

Newton no es tan familiar para trabajar, luego podríamos ponerlo en kilógramopond, Kilopond, esos términos son más sensible a nosotros. Luego tengo que dividir por la constante de transformación 9,80665 (g) y queda en 673.650 Kg., o sea son 673 toneladas. Esta es la fuerza total del muro.

¿Dónde está aplicada? Como el muro de concreto está a un tercio de la base, esa fuerza está aplicada **en F**, a un tercio de la base. $h/3 = 5 \text{ mts. del fondo}$.

Ahí se puede considerar concentrada la fuerza. Uno de los problemas en los muros es que tienen que resistir, pero además tienden a volcarse ¿qué tengo que hacer para evitar que se vuelque? tengo que compensar el momento que se genera : la fuerza por la distancia de abajo. Ahí se le da el ancho, el peso para que se oponga a ese volcamiento. Muchas veces a este muro tiende a caer y el mismo peso (fuerza) del agua tiende a enderezarlo.

Si es con agua salada la fuerza sería mayor. Si es con aceite disminuye, si fuera gasolina disminuye más, pero en general son fuerzas bastante importantes.

En una represa como Rapel ¿Cómo se soporta? Con un contrafuerte lateral. Tiene una curva enclavada en la roca, de tal manera que la fuerza que está aplicada en el centro se traslada a los bordes. Es igual a un arco cuya fuerza de compresión se trasmite a los pilares. El muro en los extremos de la roca, ahí tengo que tener fuerzas equivalentes que me soporten el muro.

Una compuerta, tengo que ubicarla adecuadamente para poder abrirla. Luego tenemos que calcular por ejemplo el hp del motor que necesito generar con respecto a algún eje para abrir la compuerta y saber dónde me conviene colocar el eje. Tal vez no en el centro de la compuerta, sino que en la misma línea donde está la fuerza, de tal manera que el momento que se genera sea el mismo.

En Rapel hay unas compuertas de superficie en lo alto, que es curva. Esa curva permite que la fuerza que hay que aplicar, para abrirla sea menor que si fuera plana. La curvatura ayuda al movimiento de apertura de la compuerta cuando se ha votado agua, a través de la compuerta superior. Formándose un salto de agua fantástico. La curvatura es en corte.

Esto está en una condición estática, muchas veces hay que pensar que están sometidos a fuerzas dinámicas. Si es en el mar es el oleaje, incluso en un lago también hay oleaje, o si es en el curso de un río, pueden producirse avenidas de agua, que generen golpes de ariete. Pueden ser fuerzas muy grandes que superan a las fuerzas estáticas, siendo difíciles de calcular, porque son situaciones imprevisibles.

En los camiones que trasladan algún líquido, existen divisiones internas para que el líquido no se mueva tanto y no produzca oleaje interno. Cuando se acelera por efecto de inercia el líquido se desplaza aunque esté lleno. (Estando lleno igual se crea esa presión “virtualmente y se puede generar vacío y el vacío crea esa fuerza que “chupa”.)

PARTE B

Número de Reynolds. El comportamiento de los flujos, por ejemplo dentro de una cañería, depende de la velocidad de los fluidos, en segundo lugar del diámetro interior del ducto de ese fluido, en tercer lugar la densidad del fluido y en cuarto lugar su viscosidad absoluta o dinámica.

Si yo combino estos cuatro factores y el número resultante es menor de 2.000 el flujo se comporta laminarmente.

Si colocamos un dispositivo con tinta, ésta se dispersa a lo largo de todo el fluido y desaparece ¿Por qué? Porque las partículas que están abajo pasan hacia arriba y las de la izquierda a derecha y de derecha izquierda. Se mezclan las moléculas del fluido, la tinta desaparece porque sus moléculas se diluyen.

Cuando estábamos entre los 2.000 y 4.000 estábamos en una situación crítica, que no sabemos cómo se comporta. Generalmente los cálculos se complican un poco. No se sabe qué hacer cuando es turbulento, es necesario elegir y no siempre elegir es lo más aconsejable. Se tiene que tomar una decisión para el caso que se está estudiando.

¿Cuál es la situación más compleja? Que sea **laminar** o que sea **turbulenta** y en qué influye eso: influye en las pérdidas por fricción, las pérdidas por fricción varían mucho de un caso a otro caso y varía mucho de cómo lo calculamos, no solo en su magnitud sino cómo lo calculamos.

Flujo Laminar si $Rd < 2000$

Flujo Critico si $2000 < Rd < 4000$

Flujo Turbulento si $Rd > 4000$

Influye también, cuando hay viento, puede que la temperatura no sea muy baja, pero da más frío. Si el aire está quieto no se siente tanto frío, porque tiene que ver con la transferencia de calor. Cuando el aire está quieto se tiene un flujo laminar y el flujo laminar dificulta la transferencia de calor. La transferencia de calor en un flujo laminar, se

tiene que transmitir por conducción entre las moléculas del fluido y el aire es un mal conductor. De hecho cuando queremos un material aislante ¿Qué hacemos? Encerramos aire en pequeñas capsulitas. En un tiempo se cortaban pajitas de trigo y se las ponía en los paneles.

¿Qué es lo que se hace? Encerrar el aire, aislarlo porque es un mal conductor del calor.

Si es un flujo turbulento, ahí es por mezcla ¿qué hacemos cuando queremos enfriar el café? Lo revolvemos con la cuchara ¿qué estamos haciendo? Convertir el flujo laminar en turbulento y mejorar la transferencia de calor.

Este perfil de velocidades nos está indicado el número de Reynolds, que tiene mucha influencia en las pérdidas por fricción dentro de las tuberías; también en los cascos de los buques; también en la transferencia del calor. Por eso el número de Reynolds es tan importante. Nos define el tipo de flujo y estimamos sus consecuencias.

Cuando estamos en una condición dinámica, tenemos energía y entonces la energía la podemos dividir en dos grandes rubros: la energía que podemos almacenar y la energía que está en transe.

$$Rd = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

Donde Rd = nº Reynolds, V=velocidad del fluido D= diámetro interior del ducto y μ = viscosidad absoluta dinámica.

Primer Principio de la Termodinámica

a-Energía que podemos almacenar – Función de punto (cinética, gravitatorio e interna)

b-Energía en tránsito - Función de línea (Calórica, Trabajo-fuerza por espacio recorrido)

Energía cinética. La energía que podemos almacenar, es entre otras la energía cinética. Cuando colocamos algo en movimiento, adquiere una energía cinética y ese cuerpo la mantiene hasta que algo lo frene. Si al auto le damos cierta velocidad y después se deja con el vuelo ¿por qué se sigue moviendo? Porque tiene energía cinética, que se va gastando por el roce con el aire y con el pavimento y llega un momento que se detiene. Energía almacenada en el vehículo, en las personas que van en su interior formando parte del vehículo, parte de las masas que están en movimiento.

Potencial gravitatorio: ¿qué hacemos en una represa? Almacenamos agua, a una cierta altura. Es una masa de agua sobre un nivel de referencia y por lo tanto, se tiene energía potencial con respecto a esa referencia.

Energía interna: para calentar agua, la ponemos en el fuego ¿qué significa esto?, que le estamos traspasando energía al agua, ¿cómo se almacena en el agua? aumentando la temperatura ¿qué es la temperatura? La temperatura me indica el nivel de energía interna que tiene ese cuerpo. Se tiene un fiel reflejo de la energía que guarda. Cuando un cuerpo está a 0 absoluto, está definitivamente muerto. Todas sus moléculas no tienen energía, no vibran nada: su temperatura es 0 absoluto. Si tiene temperatura baja, tiene menos energía, pero algo tendrá almacenada. La energía almacenada la podemos tratar como como: **energía cinética, como energía potencial gravitatoria o como energía interna.**

Función de punto ¿qué significa esto? Vamos a tomar el caso más simple. Si tenemos una referencia, tomamos la energía cinética con respecto a esa referencia, si tomamos un cuerpo y lo llevamos a ese punto y por lo tanto a una altura 0 ¿qué energía potencial tiene?: el peso por la altura, la energía potencial es = al peso x 0.

Si para llevar el cuerpo a 0 tenemos muchas opciones por un lado u otro ¿importa en el resultado?- NO- por eso se llama función de punto, no interesa el camino recorrido sino que donde se llegó. La función de punto es condición inicial, condición final. Donde está la referencia, el camino que recorra no importa, la energía potencial va a ser esa.

Lo mismo ocurre con la energía cinética no importa como se adquirió la velocidad o cuánto se demoró en adquirir una cierta velocidad. Si se adquirió es porque existe energía potencial. En la energía interna también queda la temperatura ¿cómo se llegó? No importa cuando se llegue a esa temperatura, ya tenemos un 0.

Función de línea. Las energías en tránsito son mas complicadas. El calor, la energía calórica, es función de líneas de trayectorias ¿cuándo se produce calor?, cuando hay transferencia de calor, cuando el calor se traslada de un lugar a otro ahí se tiene energía calórica.

Cuando la energía interna que tengo en el café, se traslada a través de las paredes de la taza hacia el exterior y se va al aire, en ese instante tengo energía calórica. Está en movimiento. Se realizó un traspaso de calor, se igualaron las temperaturas de dentro y de afuera y ya no hay calor, desapareció. Bueno, no tanto como desaparecer, porque cuando se produjo el flujo y llegó al final, se convirtió en otro tipo de energía, generalmente en energía interna. Se aumentó la temperatura del aire de la pieza a causa del café caliente que yo me tomé, porque estaba en la taza, pero el calor, la energía calórica, se produce en el momento de la transferencia calórica. ¿Cuándo hay transferencia calórica?.

El trabajo ¿cómo se define el trabajo? : fuerza x espacio recorrido. Si tenemos una fuerza, por ej. tomo el borrador y lo desplazo una cierta longitud, estoy realizando trabajo, detengo el borrador y se acabó el trabajo. Desaparecido el trabajo ¿qué queda? el roce

que produjo calor y se almacenó, ese trabajo se transformó en energía interna y parte lo entregó al aire. Estas situaciones tienen una vida breve, solo mientras ocurre el proceso. Éstas se generan y pueden permanecer, es energía potencial, porque la podría desarrollar o no, pero está.

La energía cinética es igual, cuando se tiene un volante y se lo hace girar. Los motores tienen un volante, que gira al hacer partir el motor. ¿Para qué es eso? Para guardar energía, porque el motor tiene 4 cilindros y hay momentos en que el motor no está haciendo trabajo, entonces el volante acumula energía y en ese momento la entrega, haciendo que el funcionamiento del vehículo sea más uniforme. Cuando el motor tiene menos cilindros, se debe tener un volante más grande. Si el motor es lento, más grande el volante.

Nosotros tenemos en la Escuela de Mecánica un motor a gas (mono-cilindro) y su velocidad de operación es lenta. El volante es un pedazo de fierro enorme, pesadísimo. ¿Por qué?, como es un mono-cilíndrico, de los cuatro tiempos de operación, uno era de trabajo y los otros eran de consumo. Entonces el volante adquiere esa energía y la desarrolla para mantener el motor funcionando más uniformemente. Ahí tenemos un típico caso de energía cinética.

La energía interna son cosas que calentamos y que permanecen estancadas a una cierta temperatura.

Sabiendo lo anterior podemos definir el **Primer principio de la Termodinámica**. ¿qué dice este primer principio? Que toda la energía que tiene un cuerpo se conserva y se puede transformar en energía cinética, gravitatoria o interna. Podremos tener transferencia de energía cinética o trabajo, pero la suma total de todas estas energías es la misma.

Esto es cierto parcialmente. Porque llegó *Einstein* y planteó que la energía y la masa eran éstas también, $E=Mc^2$, entonces significa que la energía se puede convertir en velocidad y también la masa se puede transformar. Pero eso ocurre en todas las reacciones atómicas.

En el diario vivir podemos olvidarnos de esto y usar el primer principio como siempre lo hemos hecho, porque nos da una buena solución. Los cambios de velocidades que se producen son bajos. También los cambios de masa en energía o energía en masa son pequeños, tan pequeños que no los podemos captar. Entonces volvemos a nuestra física tradicional, siempre que no nos veamos envuelto en un proceso de carácter atómico.

Si de repente llega un ciudadano con un invento que va contra el primer principio de la termodinámica, quiere decir que no funciona. Todas las máquinas perpetuas van contra

este principio. Algunos inventos podrían funcionar un tiempo prolongado, pero al final se detiene, entre otras cosas porque existe el roce.

Se podrá disminuir el roce, pero algo queda, y a la larga siempre se detiene. En la Escuela de Mecánica siempre llegan nuevos inventores y es un sufrimiento porque están tan convencidos de lo que ellos piensan, que es difícil convencerlos que no va a funcionar.

Entropía Se puede hablar del concepto de *entropía*. La entropía es una dilatación de la energía, entonces significa que la energía pierde su capacidad de realizar trabajo. Si tenemos una esfera que la dejamos caer por un plano inclinado, puede realizar algunas acciones, pero cuando llega a la parte plana, al final, se detiene y pierde su capacidad de realizar estas acciones. Con la energía pasa lo mismo, por eso siempre se habla de la muerte técnica, en que todas las actividades humanas y todo lo que realicemos empieza a perder los niveles.

Ya no vamos a tener agua que corra de arriba hacia abajo, sino que *se fue aplanando*. Si no hay una fuente caliente que proporcione energía y un resumiendo frío, si no existe esa diferencia, no podemos realizar ningún trabajo.

Dentro de un motor de combustión interna ¿cuál es la fuente caliente?, la gasolina que se quema en el interior y la fuente fría el medio ambiente. ¿Cuándo funciona mejor un motor?: los días fríos, porque hay más diferencia entre esas dos temperaturas, la caliente y la fría.

¿Cómo vamos a trabajar con este primer principio?

La expresión general para un flujo permanente, unidimensional, incompresible y para una superficie de entrada y otra de salida es:

$$\frac{dQ}{gdm} - \frac{dW_m}{gdm} = \left(\frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + u_2 + \frac{P_2}{\gamma_2} \right) - \left(\frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + u_1 + \frac{P_1}{\gamma_1} \right) + h_{perd(1-2)}$$

La

entrada siempre la suponemos como 1 y la salida como parte 2.

el flujo de calor por el peso, menos el flujo de trabajo por unidad de peso es = a la variación de la energía cinética, de la energía potencial gravitatoria, de la energía interna y aquí agregamos otro; la energía potencial de presión, que no estaba entre las anteriores ¿por qué no estaba en las anteriores? Porque la energía potencial de presión viene de algo que se llama el trabajo de flujo. Tiene que ver, podríamos decir, con las velocidades o el trabajo que hay que hacer salir o entrar a un fluido a través de una, por ejemplo, puerta. Entonces ese trabajo de flujo se puede expresar en función de la presión. Entonces yo a esto le llamo: energía de presión, potencial de presión; como a g que le llamo energía

potencial gravitatoria. Las condiciones 2 menos las condiciones 1. Pero a esto hay que sumarle nuestro eterno..., no sé si nuestro eterno enemigo porque a veces es enemigo y otras veces es lo que andamos buscando.

Energía que se degrada que se pierde. Generalmente se pierde en forma de calor y va hacia el medio ambiente o se calientan las piezas. Pensemos en el freno del auto. Cuando se aprieta el freno del auto, necesito que funcione al máximo para que sea efectivo. ¿El freno del auto qué hace? Las pastillas se aprietan contra el disco, friccionan, generan calor, ese calor se va a en parte al aire que rodea el disco. Son dos discos y por el centro tiene un hueco que funciona con un ventilador. Entonces el calor se va por ahí y se va también a las partes del disco.

Muchas veces en Agua Santa se veían algunos camiones que venían bajando con el sistema de balatas y terminaba rojo todo el aro. Llegaban abajo por el espíritu santo, en esa condición los frenos prácticamente no funcionan.

Si yo simplifico la ecuación anterior y elimino la transferencia de calor nos queda:

$$\frac{dW_m}{gdm} = H = \left(\frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \frac{P_2}{\gamma_2} \right) - \left(\frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + \frac{P_1}{\gamma_1} \right) + h_{perd(1-2)}$$

Si no hay transferencia de calor, significa que este término de energía interna 1 y 2 son iguales o casi iguales. Entonces también la elimino.

Z es la altura de referencia. Cada uno de estos términos es energía combinada de peso, con energía circulante.

Cada uno de estos términos viene a ser energía por unidad de peso y de flujo del fluido que está circulando. Ahora este H ¿de dónde salió? En vez de colocar el trabajo mecánico por unidad de peso, coloco H. H es por ejemplo la energía que la bomba tiene que proporcionar para trasladar energía de un punto a otro, la altura de la bomba. Entonces la bomba ¿qué energía tiene que proporcionar al líquido? Tiene que proporcionar una energía potencial gravitatoria, que gane energía cinética, que gane energía de presión y además que venza las pérdidas que hay entre las zonas de aspiración. La bomba tiene que ser capaz de proporcionar toda esa energía y llevar el líquido de un punto hasta otro punto y eso generalmente lo denominamos **H**.

$$H = \left(\frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \frac{P_2}{\gamma_2} \right) - \left(\frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + \frac{P_1}{\gamma_1} \right) + h_{perd(1-2)} \quad \left[m_{columna\ del\ fluido} \right]$$

Este es el primer principio de la termodinámica, junto con la ecuación de continuidad de ésta.

Ecuación de continuidad :

$$V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2$$

Donde la masa que entra en un ducto es la misma que sale.

Las condiciones para que suceda esto son: que sea flujo permanente, que el fluido tiene que ser incompresible (máximo 7%) y que sea unidimensional.

Todo lo que realicemos pertinente a los fluidos, ésta es la respuesta.

Nos permite determinar las velocidades que hay en las distintas partes, en función de los flujos que estén circulando y cómo vamos repartiendo la energía.

Me dicen que la bomba tiene que generar presión, sí, ahí está generando presión para que pueda trasladar el líquido hacia arriba.

Todo esto que les dije de la energía por unidad de peso de fluidos circulantes, la energía está dado por $\frac{m^2 \cdot s^{-2}}{s^2 \cdot m} = m$, pero estos m= son metros de columna de fluidos. No es una simple longitud, sino que me representan energía y queda en mts., por la simplificación realizada.

Pero ¿qué son mts. de columna de fluidos? Muchas veces se dice que mts. es columna de agua, para que no se confunda con una simple longitud.

Por ejemplo, tengo que trasladar el agua de abajo hasta allá arriba y eso hace una diferencia de altura de 10mt. H ¿vale 10mt? No vale más de 10mt., porque no solamente me representa la energía potencial que tengo que tener, sino también, las velocidades que tengo que imprimirle al líquido, para vencer las pérdidas para llegar allá arriba.

Entonces aquí por simplificación me queda el mt de columna del líquido que estoy manejando (agua, aire, aceite lo que sea).

Después cuando veamos el capítulo de parámetros adimensionales, cuando salga H no lo vamos a tomar así. Sino que lo vamos a tomar como energía x H, como un término.

La aceleración de la gravedad x H y eso es la energía por la unidad de masa, entonces no se va a confundir con una simple longitud. Esos mts. sobre una columna de líquido representan una energía.

Concepto de pérdidas. Los 10 mts. de agua representan varias cosas y aquí vienen las pérdidas.

Si tenemos un flujo real y una tubería horizontal y colocamos un manómetro a la entrada (1) y otro a la salida(2) y medimos, resulta que las presiones en 1 y en 2 son distintas.

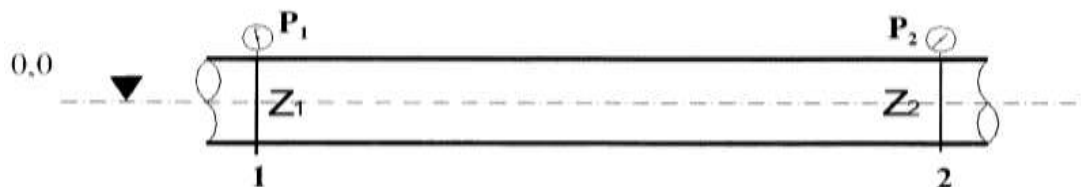


Fig.9

$$\frac{P_2 - P_1}{\gamma_{AGUA}} = h_{perd} \quad [m_{CA}]$$

¿Y por qué son distintas? El diámetro no ha cambiado, por lo tanto la velocidad en 1 es igual a la velocidad en 2.

El Z está horizontal, así que el Z1 y el Z2 son lo mismo ¿entonces qué pasa?

Que las presiones son distintas. Si no han cambiado otros términos de la ecuación, ahí están las pérdidas. Esa diferencia de presiones me significan las pérdidas que se producen en este tramo de la tubería ¿por qué se genera? Por la fricción del líquido contra las paredes del tubo.

Considerando una condición general:

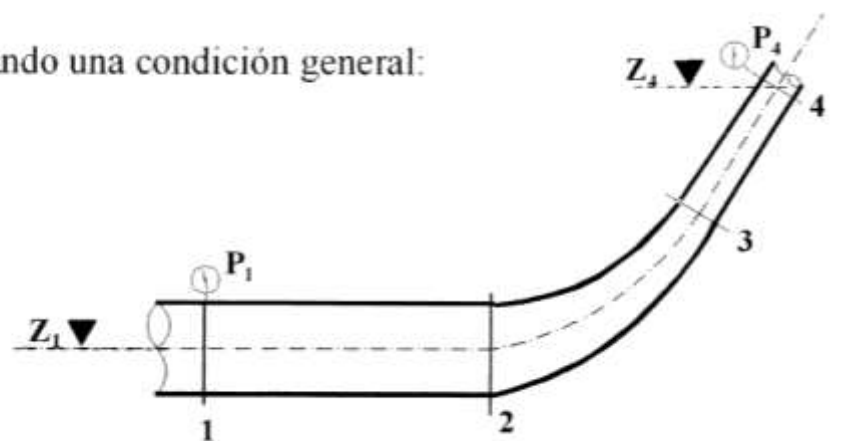


Fig.10

Aquí, en la fig.10 se me complicó la situación, tengo la presión P1, tengo la presión P4, que también son distintas, pero acá hay otros términos que entran a jugar:

el tubo tiene un diámetro mayor en 1 y en el término otro, por lo tanto la velocidad en 1 es pequeña y en 4 es alta.

Entonces P4 es mayor que P1.

Además Z1 está en ese nivel mas abajo y Z4 está en ese nivel mas arriba y también son distintas.

Además se podría haber variado la energía interna, ahora tengo pérdida entre 1 y 4.

La diferencia de presiones se debe al cambio de altura, al cambio de energía cinética y a las pérdidas.

En el caso anterior, Fig.9, la diferencia de presión solo me sirvió para vencer las pérdidas, no existía otro tipo de resistencia.

Acá, en la fig.10, la diferencia de presiones me permitió vencer las pérdidas, pero además me permitió cambiar la altura, me permitió cambiar la energía cinética.

Por eso la expresión en esta ecuación la llamo energía potencial de presión, porque es energía que tengo disponible para gastar en distintas cosas: en pérdidas, en los cambios de energía cinética, en los cambios de presión.

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + u_1 = Z_4 + \frac{V_4^2}{2g} + \frac{P_4}{\gamma} + u_4 + h_{per1-4}$$

$$P_1 - P_4 = \gamma \left[(Z_4 - Z_1) + \left(\frac{V_4^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right) \right] + \gamma h_{per(1-4)}$$

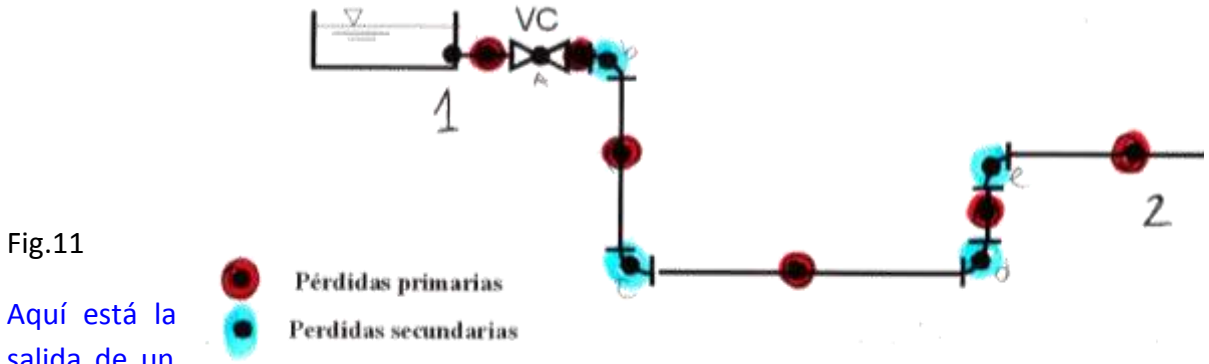
A veces ese gastar también es al revés, para acumular: si se tiene potencia de arriba hacia abajo acumularía, mejoraría algunas de esas energías y me haría aumentar el 4 con respecto al 1. No disminuir como en este caso de Fig. 10. Pero aquí tenemos una parte que es recta, otra que es una curva y cambia de sección y otra parte que es una tubería recta.

Así que voy a separar los tipos de pérdida: pérdida de carga H, pérdidas primarias y pérdidas secundarias.

Pérdidas primarias: son siempre las tuberías rectas.

Pérdidas secundarias: accesorios, codos, reducciones, las T, las válvulas.

Ejemplo: Pérdida de carga en serie:



Aquí está la salida de un

estanque. En azul las pérdidas secundarias ¿dónde hay pérdidas secundarias? En los accesorios: primero en la conexión de la tubería, después en la válvula (una válvula de compuerta), después en los codos.

En rojo las pérdidas primarias: tuberías rectas.

En esta situación que muestro en la Fig.11 se mantiene el diámetro.

Las pérdidas estarían dadas entre 1 y 2 por la suma de las dos pérdidas secundarias ¿Cómo se calculan las pérdidas secundarias? Por un factor.

Esa salida tiene un factor K, sumo todo eso, el diámetro de la tubería es el mismo, entonces la velocidad es la misma y la suma de esos K (a+b+c+d+e) lo multiplico por la velocidad al cuadrado, es decir, las pérdidas son en función de la energía cinética del líquido.

Estas son pérdidas secundarias.

Las pérdidas primarias: Es más difícil calcular, porque tenemos que determinar un factor de fricción f . Después multiplicarlo por la longitud de las tuberías rectas (la suma de las longitudes).

$$h_{pvc.1-2} = \sum K_i \frac{V^2}{2g} + f \frac{\sum L_j}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Si tengo una tubería corta las pérdidas pueden ser pequeñas, pero si son muchos metros en el largo, las pérdidas son mucho mayores y además divididas por el diámetro. Mientras más pequeño es el diámetro, la pérdida es mayor.

Mientras mayor es el diámetro de la tubería, la pérdida es menor. Si yo quiero pérdidas pequeñas tengo que tener diámetro grande. Si queremos pérdidas grandes tengo que tener diámetros pequeños.

Por ejemplo en los refrigeradores de casa, a veces hay un tubo capilar ¿qué es? Un tubo delgado que tiene dos metros y tanto de largo ¿qué función cumple? Que tenga una buena pérdida de carga porque se necesita. Una parte del refrigerador está a alta presión y la otra a baja presión y no queremos cambiar eso y tampoco colocar una válvula entremedio. Entonces coloco un tubo capilar, que produce una pérdida de carga tal que paso de la presión alta a la presión baja y eso me produce el efecto frigorífico, multiplicado por la energía cinética.

Esos valores K lo obtenemos a través de las tablas entregadas en clases.

K me dice de un codo regular, el corriente, roscado, un codo de radio largo, muchas veces a los codos de radio largo le decimos curva roscada. Siempre las roscas los hilos generan imperfección en las tuberías. Si tenemos dos tuberías que se van a unir con hilo, quedan baches y eso provoca pérdida de carga.

En los roscados siempre tenemos mayor pérdida que en los menos roscados.

Esas tablas se han obtenido de los ensayos en esas piezas y son valores bastante reales. Se han ensayado muchas veces y ese es el promedio. Están para los codos de distintos tipos, y para todos los otros accesorios.

Pérdidas de carga primarias

$$h_{PP} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

f = factor de fricción [-]

D = diámetro interno [m]

L = longitud de la tubería [m]

V = velocidad del fluido [m/s]

Si el ducto no es circular $D = 4 R_h$