

UNIDAD I

INTRODUCCIÓN

Definición: de acuerdo con su significado etimológico, que viene del griego hydros (agua), aulos (conducción) e icos (relativo), quiere decir relativo a la conducción del agua.

En física se puede definir como la parte que estudia las leyes naturales, que gobiernan los fenómenos mecánicos de los líquidos.

Los fenómenos mecánicos mas importantes son: los fenómenos de equilibrio y los fenómenos de movimiento.

La hidráulica tiene dos finalidades: científicas y practicas.

La finalidad científica es la investigación de fenómenos y dispositivos relacionados con la mecánica de fluidos.

La finalidad practica es la planeación, construcción, operación y mantenimiento de obras y estructuras de ingeniería.

La hidráulica se denomina también como hidráulica elemental o clásica, basa su estudio en un liquido ideal o perfecto cuyas características son: homogéneo, incompresible, continuo, antiviscoso e isotrópico.

Liquido homogéneo, es aquel que carece de partículas ajenas a el, esto es que no tiene impurezas; liquido incompresible, es aquel que soporta grandes presiones sin modificar su volumen; continuo, que al tener movimiento, su masa no varia; antiviscoso, que no ofrece resistencia a la acción de una fuerza, esto es que no presenta ninguna deformación al aplicarla; isotropico, que posee las mismas propiedades en todas direcciones y sentidos.

Clasificación:

La hidráulica se puede dividir en:

General o teórica. Hidrostática

Hidráulica Hidrodinámica

Aplicada o hidrotecnia.

La hidrostática estudia las propiedades de los fluidos en reposo y la hidrodinámica tiene por objetivo el estudio de los líquidos en movimiento.

Hidráulica aplicada:

Sistemas de abastecimiento de agua

Hidráulica urbana Sistema de alcantarillado sanitario

Sistema de desagüe pluvial

Drenaje de áreas

Hidráulica rural o agrícola Riego o irrigación

Drenaje

Hidráulica fluvial Ríos

Canales

Hidráulica marítima Puertos

Obras marítimas en general

Instalaciones hidráulicas industriales

Técnicas hidrostáticas

Propiedades físicas de los fluidos:

La materia ordinaria se presenta en alguno de los tres estados siguientes: sólido, líquido o gaseoso. Existe un cuarto estado de la materia denominado plasma que es esencialmente un gas ionizado con igual número de cargas positivas que negativas. A los líquidos y gaseosos se les denomina fluidos. Característica peculiar de un fluido es que no tienen forma propia, adquiriendo la del recipiente que lo contiene.

Líquido:

- toma la forma del recipiente
- ocupa el máximo volumen permitido
- incompresible

Gases:

- se expanden hasta ocupar el volumen máximo
- adoptan la forma del recipiente cerrado
- compresible

Fluido:

- sustancias que adoptan la forma del recipiente que los contiene
- no resisten esfuerzos tangentes

Las propiedades físicas de los fluidos, que permiten describir los aspectos mas importantes de la hidráulica son:

Peso específico (γ) es, el peso por unidad de volumen de una sustancia, sus dimensiones son $[FL^{-3}]$. También se le conoce como peso volumétrico (γ_v).

Densidad de un fluido (ρ) : se define como el cociente de su masa entre el volumen que ocupa.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

La unidad de medida en el S.I. de Unidades es kg/m³, también se utiliza frecuentemente la unidad g/cm³ Densidad de sólidos y líquidos a (20°C)

Sustancia	Densidad (g/cm ³)	Sustancia	Densidad (g/cm ³)
Acero	7.7–7.9	Oro	19.31
Aluminio	2.7	Plata	10.5
Cinc	7.15	Platino	31.46
Cobre	8.93	Plomo	11.35
Cromo	7.15	Silicio	2.3
Estaño	7.29	Sodio	0.975
Hierro	7.88	Titanio	4.5
Magnesio	1.76	Vanadio	6.02
Níquel	8.9	Volframio	19.34

Sustancia	Densidad (g/cm ³)	Sustancia	Densidad (g/cm ³)
Aceite	0.8–0.9	Bromo	3.12
Ácido sulfúrico	1.83	Gasolina	0.68–0.72
Agua	1.0	Glicerina	1.26
Agua de mar	1.01–1.03	Mercurio	13.55
Alcohol etílico	0.79	Tolueno	0.866

Gravedad específica (s) es, la relación entre el peso específico de una sustancia y el peso específico del agua a 4° C. También se le denomina densidad relativa, y puede ser expresada como la relación de la sustancia y el peso de un volumen igual de agua o como la relación de densidades.

Viscosidad dinámica, absoluta o simplemente viscosidad (η), es la medida de la resistencia a fluir de un fluido como resultado de la interacción y cohesión de sus moléculas. Las dimensiones de la viscosidad dinámica en el sistema absoluto son; [ML⁻¹T⁻¹] y en el gravitacional [L²T⁻¹].

Viscosidad cinemática (ν) es, la relación de la viscosidad dinámica del fluido entre su densidad. La viscosidad cinemática interviene en aplicaciones como el número de Reynolds ($Re = \nu D / \nu$) las dimensiones de ν , son:

$$\nu = \eta / \rho = [FL^{-2} T] / [FL^{-4} T^2] = [L^2 T^{-1}]$$

Tensión superficial (σ) es, la fuerza por la unidad de longitud que se genera sobre la superficie libre de un líquido, o de contacto entre las moléculas integrantes de esos fluidos, sus dimensiones [FL⁻¹].

Capilaridad es, la acción (elevación o descenso), de un líquido en un tubo capilar (o en situaciones físicas análogas tales como en medios porosos), provocada por la tensión superficial y originada en la relación que presenta la adhesión entre líquidos y sólido con la cohesión del líquido.

Compresibilidad es, la propiedad que tiene los cuerpos de reducir su volumen bajo la acción de presiones externas, esto se deriva el módulo de elasticidad volumétrica (E_v) de los líquidos definidos como el cambio de intensidad de la presión (P), dividida por el cambio correspondiente del volumen (ΔV), por unidad de

volumen.

$$E_v = P / (\Delta V / V) \quad [FL-2]$$

Es común designar la compresibilidad como el recíproco del módulo de elasticidad volumétrica $\beta = 1/E_v$, (compresibilidad) [L2F-1].

Presión de vapor: es la presión parcial que ejercen, en un espacio cerrado, las moléculas que escapan de la superficie de un líquido al producirse el fenómeno de evaporación. Como este fenómeno depende de la actividad molecular y esta a su vez es función de la temperatura y aumenta con ella. Cuando la presión que actúa sobre un líquido es igual a su presión de vapor, se presenta la ebullición. La ebullición del agua por ejemplo puede ocurrir a la temperatura ambiente si se reduce la presión suficientemente.

Movimiento de un cuerpo en el seno de un fluido:

Un cuerpo de pequeñas dimensiones se deja caer desde una altura de 5 m sobre la superficie de un estanque de 10 m de profundidad. Determinar el movimiento del cuerpo, suponiendo que si llega a tocar el fondo del estanque rebota elásticamente.

El applet que se ha diseñado para mostrar el movimiento de un cuerpo en el seno de un fluido no viscoso, tiene un interés didáctico más allá del principio de Arquímedes, pues nos permite explorar el significado de movimiento acelerado y movimiento decelerado, comparando los signos de la velocidad y de la aceleración.

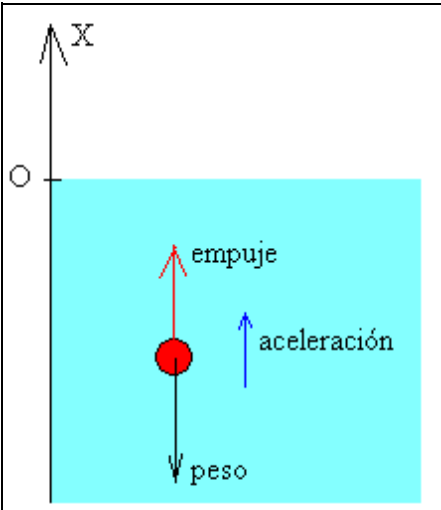
Fundamentos físicos

Consideremos ahora un cuerpo de pequeñas dimensiones moviéndose verticalmente en un fluido cuya viscosidad es despreciable por tanto, no experimenta fuerzas de rozamiento proporcionales a la velocidad.

Las fuerzas que actúan sobre el cuerpo en el seno del fluido son dos: el peso y el empuje se calcula aplicando el principio de Arquímedes. La segunda ley de Newton se escribe

$$m a = F_{\text{empuje}} - F_{\text{peso}}$$

$$\rho_f V a = \rho_f V g - \rho_s V g \quad a = \frac{\rho_f - \rho_s}{\rho_s} g$$

	Se toma la dirección vertical hacia arriba como eje positivo de las X, cuando el cuerpo desciende $v < 0$ y cuando asciende $v > 0$. Se pueden dar los siguientes casos: • Si $s < f$ entonces $a > 0$ y con $v < 0$ el cuerpo desciende hasta cierta profundidad máxima y luego, asciende retornando al origen. • Si $s > f$ entonces $a < 0$ y con $v < 0$ el cuerpo desciende en el fluido • Si $s = f$ el cuerpo $a = 0$ se mueve con movimiento uniforme en el seno del fluido
---	---

Formularemos a continuación las ecuaciones del movimiento del cuerpo a lo largo del eje X, tomando como origen la superficie del estanque.

Movimiento de caída libre desde una altura h .

$$a = -g$$

$$v = -gt$$

$$x = h - gt^2/2$$

Cuando llega a la superficie del fluido la velocidad del cuerpo es

$$v_0 = -\sqrt{2gh}$$

Movimiento en el seno del fluido

$$v = v_0 + at$$

$$x = v_0 t + at^2/2$$

Como $v_0 < 0$, si $a > 0$ la velocidad v disminuye (en valor absoluto) y se puede hacer cero antes de que el cuerpo llegue al fondo del estanque

- No llega al fondo

El tiempo t necesario para que v sea cero y el desplazamiento es,

$$t = \frac{|v_0|}{a} \quad x = -\frac{v_0^2}{2a}$$

Si $x > -H$ (profundidad del estanque) el cuerpo no llega al fondo del mismo. El cuerpo, sale del fluido con la misma velocidad v_0 y regresa al origen con velocidad final cero.

- Rebota en el fondo

El cuerpo llega al fondo, (posición $x = -H$) en el instante t tal que

$$-H = v_0 t + at^2/2$$

Con una velocidad

$$v_f = v_0 + at \quad (v_f < 0)$$

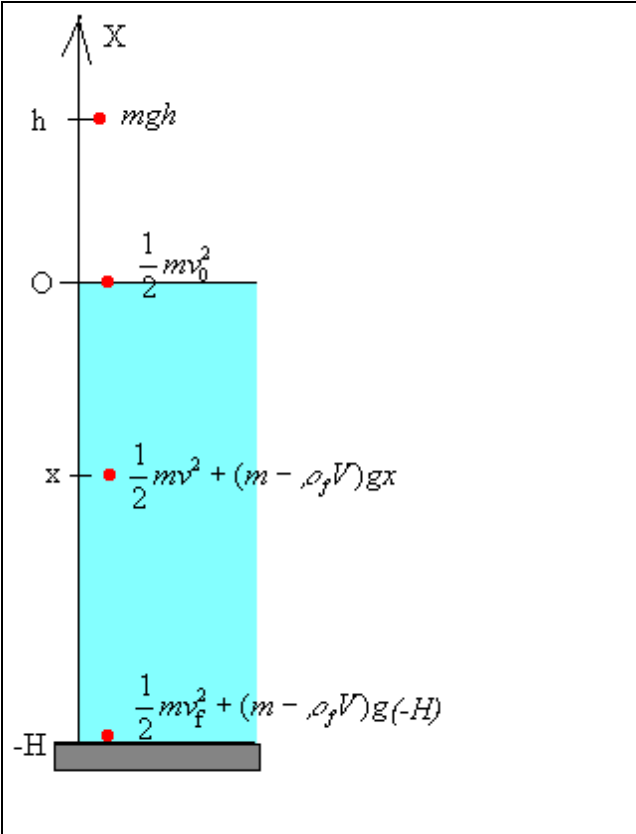
En ese momento, el cuerpo rebota elásticamente (la velocidad cambia de signo) e inicia su ascensión,

$$v = -v_f + at \quad (v > 0)$$

$$x = -H - v_f t + at^2/2$$

saliendo del fluido con la misma velocidad con la que entró v_0 , y regresa al punto de partida con velocidad final cero.

Como podemos apreciar en las ecuaciones, se supone que las dimensiones del cuerpo son pequeñas para no tener que considerar el movimiento del cuerpo mientras entra o sale del agua.

	Cuando el cuerpo está sometido a la acción de fuerzas conservativas, la energía total se conserva. La energía potencial se transforma en cinética y la energía cinética en potencial. La energía total suma de la potencial más la cinética se mantiene constante. El peso y el empuje son fuerzas constantes en módulo y dirección y por tanto, son ambas conservativas. $(E_k + E_p)_A = (E_k + E_p)_B$
---	--

- En el aire

Cuando el cuerpo está en el aire la energía potencial vale mgx , donde x es la altura sobre la superficie de fluido.

Cuando el cuerpo llega a la superficie del fluido, su energía potencial se ha convertido en cinética, su velocidad es v_0 .

$$mgh = \frac{1}{2}mv_0^2 \quad v_0 = \sqrt{2gh}$$

Si se deja caer el cuerpo desde una altura $h=5$ m la velocidad con que llega a la superficie del agua es $v_0=9.9$ m/s.

- En el seno de un fluido ideal

Cuando el cuerpo está en el fluido la energía potencial es $(m - \rho_f V)gx$. Donde x es la profundidad (valor negativo).

La velocidad del cuerpo en cualquier punto $x < 0$ del fluido es

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv^2 + (m - \rho_f V)gx$$

Simplificando el volumen V se obtiene la ecuación

$$\frac{1}{2} \rho_3 v^2 = \frac{1}{2} \rho_3 v_0^2 - (\rho_3 - \rho_f) g x$$

- No llega al fondo del estanque

Si el empuje es mayor que el peso, el cuerpo alcanza una máxima profundidad, poniendo $v=0$, se despeja x .

$$x = \frac{\rho_3 v_0^2}{2(\rho_3 - \rho_f)g}$$

Para $s=0.4 \text{ g/cm}^3$, el valor de $x=-3.33 \text{ m}$

- Llega al fondo del estanque

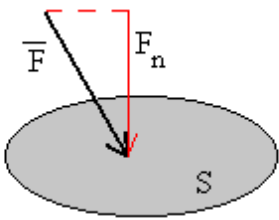
Si $s=2.0 \text{ g/cm}^3$, el empuje es menor que el peso y alcanza el fondo del estanque $x=-10 \text{ m}$. con una velocidad de $v=14.0 \text{ m/s}$.

UNIDAD II

HIDROSTÁTICA

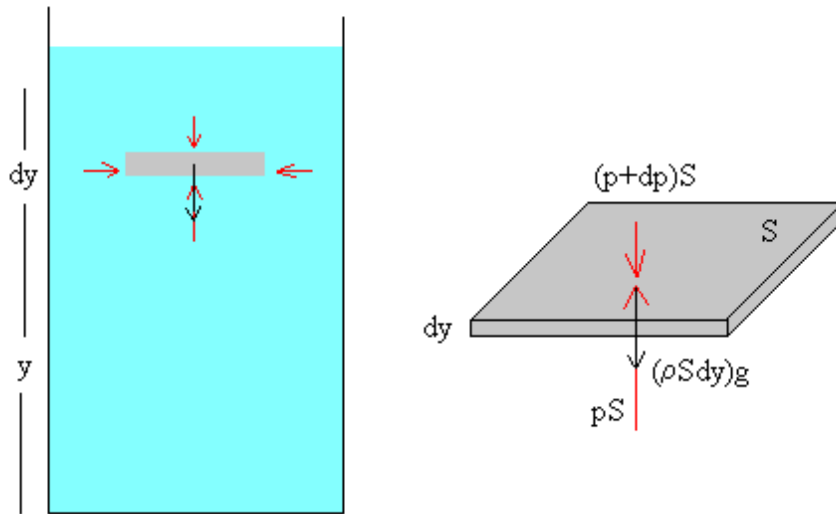
Es, la rama de la hidráulica que estudia las presiones y fuerzas producidas por un líquido en reposo y sus condiciones de equilibrio.

Presión hidrostática

	Se define presión como el cociente entre la componente normal de la fuerza sobre una superficie y el área de dicha superficie. $p = \frac{F_n}{S}$ La unidad de medida recibe el nombre <u>de pascal (Pa)</u>.
---	--

Variación de la presión con la profundidad

Consideremos una porción de fluido en equilibrio de altura dy y de sección S , situada a una distancia y del fondo del recipiente que se toma como origen.



Las fuerzas que mantienen en equilibrio a dicha porción de fluido son las siguientes:

- El peso, que es igual al producto de la densidad del fluido, por su volumen y por la intensidad de la gravedad, $(Sdy)g$.
- La fuerza que ejerce el fluido sobre su cara inferior, pS
- La fuerza que ejerce el fluido sobre su cara superior, $(p+dp)S$

La condición de equilibrio establece que

$$(Sdy)g + pS = (p+dp)S$$

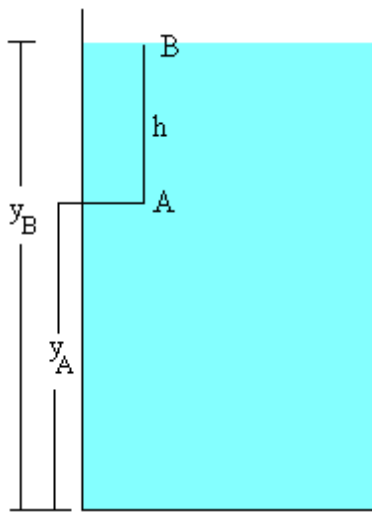
$$dp = -gdy$$

Integrando esta ecuación entre los límites que se indican en la figura

$$\int_{p_A}^{p_B} dp = \int_{y_A}^{y_B} -\rho g dy \quad p_B - p_A = -\rho g y_A + \rho g y_B$$

Si el punto B está en la superficie y el punto A está a una profundidad h . La ecuación anterior se escribe de forma más cómoda. Ahora, p_0 es la presión en la superficie del fluido (la presión atmosférica) y p la presión a la profundidad h .

$$p = p_0 + \rho gh$$



la presión hidrostática se clasifica en:

Absoluta, cuando se toma en cuenta la presión atmosférica.

Relativa, cuando no se toma en cuenta la presión atmosférica, en ingeniería se le denomina presión hidrostática.

Unitaria, cuando su intensidad se refiere a la unidad de área.

Total, cuando se refiere a toda una superficie y corresponde a la intensidad del empuje hidrostático.

Se mide en unidades de fuerza entre unidades de área (kg/m^2 , kg/cm^2 , lb/pie^2 o derivadas).

Teorema de pascal:

El teorema de pascal dice en cualquier punto, en el interior de un líquido en reposo, la presión es igual en todas direcciones .

En un prisma de dimensiones pequeñas x , y , z , dentro de un cuerpo líquido en reposo, ubicado en tres coordenadas rectangulares.

Prisma de un cuerpo líquido en reposo.

Las presiones totales de las caras del prisma son perpendiculares a ellas por carencia de rozamiento, al encontrarse en reposo.

Posición de presión sobre la cara inclinada de un prisma líquido.

Por perpendicularidad =

Por reposo, se tiene la ecuación estática de equilibrio ($F=0$):

$$F_x - F_i \cos = 0$$

$$P_x a_x - p_i a_i \cos = 0$$

Si las dimensiones del prisma son pequeñas, las caras son de area muy reducida y es admisible, por la continuidad natural de los fenómenos, que su presión unitaria no variara para fines prácticos.

Entonces:

$$P_x = p_i$$

Por e estado de reposo en que se encuentra el prisma ($F_y=0$):

$$P_i a_i \sin + \frac{1}{2} x y z w = p_y a_y$$

Como:

$$a_i \sin = a_y ; \text{ porque } =$$

y por ser el volumen un finito pequeño al cubo ($x y z$), se puede considerar nulo el termino que le contiene:

$$\frac{1}{2} x y z w = 0$$

entonces:

$$p_i a_y = p_y a_y$$

reduciendo:

$$p_i = p_y$$

entonces se tiene que:

$$p_x = p_y = p_i = p$$

Si cambiamos las dimensiones pequeñas a infinitesimales el prisma pasa a ser un punto, el ángulo puede tener cualquier valor y el plano ZX puede girar alrededor del eje Y, este análisis puede hacerse para cualquier dirección. Por lo cual, el diagrama de presiones hidrostáticas unitarias de un punto, dentro de un cuerpo liquido, es un circulo y el volumen de presiones hidrostáticas unitarias, es una esfera.

Teorema principal de la hidrostática:

Se le conoce también como la diferencia de presiones hidrostáticas unitarias y su enunciado es: En un liquido ideal en reposo la diferencia de presiones de dos puntos en su interior, vale la diferencia de sus respectivos tirantes por el peso volumétrico del liquido.

a ha

hb

o b

prisma de un liquido en reposo

Como el prisma liquido se encuentra en estado de reposo, se deben cumplir las ecuaciones de equilibrio:

$$F_y = 0$$

por lo que:

$$F_b - F_a - W \cos \theta = 0$$

Donde:

W = peso propio del prisma líquido

F_a y F_b = empuje hidrostático en las bases del prisma, cuyo estado de reposo se analiza.

Como:

$$F = A \cdot P \quad w = V \cdot \gamma \quad (\gamma = \text{volumen} \cdot \text{peso volumétrico})$$

$$(\gamma \cdot z \cdot p_b) - (\gamma \cdot z \cdot p_a) - (\gamma \cdot y \cdot z \cdot \cos \theta) = 0$$

dividiendo todo entre $\gamma \cdot z$ y como $y = L$, se tiene:

$$p_b - p_a - L \cos \theta = 0$$

pero:

$$L \cos \theta = h_b - h_a$$

Entonces:

$$p_b - p_a = (h_b - h_a) \gamma$$

Teorema de la diferencia de presiones hidrostáticas unitarias o principal de la hidrostática

Donde:

p_a y p_b 0 presiones hidrostáticas unitarias en los puntos a y b (centroides de las bases del prisma líquido en reposo), en kg/m^2 , lb/pie^2 o unidades derivadas.

γ = peso volumétrico del líquido donde se ubica el prisma, en kg/m^3 , lb/pie^3 o unidades derivadas.

h_a y h_b = tirantes o profundidades de los puntos a y b (distancia de los puntos a la superficie libre de los líquidos (SLL) donde se les localiza), en m o pie.

Para el agua normalmente se le considera un peso volumétrico (γ) de 1000 kg/m^3 .

Este teorema presenta tres corolarios, según se describe:

Corolario 1 la magnitud de la presión hidrostática unitaria (relativa) en un punto vale el tirante del punto por el peso volumétrico del líquido (γ).

$$p_x = \gamma \cdot h_x$$

Despojando el tirante se tiene:

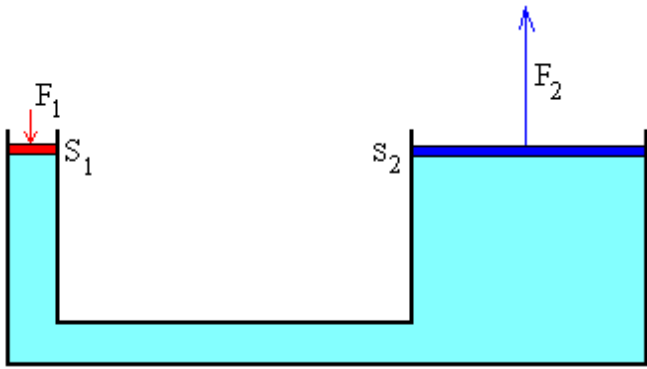
$$h_x = p_x / \rho g$$

a esta ecuación se le denomina carga de presión e indica la profundidad (en metros) necesaria para producir una presión p_x ; de un líquido de peso volumétrico ρg .

Corolario 2 puntos localizados en un plano a nivel, dentro o ligados por un líquido homogéneo, tienen la misma presión hidrostática unitaria

Corolario 3 la presión aplicada a un fluido encerrado se transmite sin disminución a cada punto del fluido y de las paredes del recipiente que le contiene

Ubicados en el prisma anterior, con el punto trasladado a la S.L.L., y si la presión p_a se aumenta de algún modo, por ejemplo: ajustando un pistón sobre la parte superior y ejerciendo una fuerza f sobre el, a una cierta profundidad, la presión p , aumenta exactamente en la misma cantidad. Este corolario viene a representar otra expresión del principio de Pascal y se aplica para el funcionamiento de la prensa hidráulica; representada esquemáticamente:

	en una zona pequeña de un pistón cuya sección transversal es a, esta se utiliza para ejercer directamente una pequeña fuerza f sobre el pistón contra un líquido, tal como el aceite. La presión ($p = f/a$), se transmite a lo largo de un tubo, de la misma forma se tiene un cilindro más ancho; provisto también de un pistón más ancho, de área A en la cual se ejerce una fuerza F. Puesto que la presión es la misma en ambos cilindros se tiene la siguiente igualdad: $p = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$
--	--

se deduce de esto que la prensa hidráulica es un dispositivo para multiplicar la fuerza con una ventaja mecánica ideal

igual a la razón de las áreas de los dos pistones.

Las características vectoriales de la presión hidrostáticas en un punto dentro o en la periferia de un cuerpo líquido, son:

Dirección: Radial (en el espacio).

Magnitud: tirante del punto por el peso volumétrico del líquido en (kg/m^2 , lb/pie^2 , etc).

Sentido: hacia el punto.

Línea de acción: recta.

Dispositivos para medir a presión:

Las presiones pueden expresarse con referencia a un origen arbitrario; los orígenes más usuales son el vacío absoluto y la presión atmosférica, cuando se toma como origen el vacío absoluto, la presión se llama presión

absoluta y cuando se toma como origen la presión atmosférica local, se llama presión relativa o presión manométrica.

Para demostrar lo anterior se tiene:

$$P_{abs} = p_{bar} + p_{man} = p_a + (z_o - z_q)$$

Donde:

P_a = presión atmosférica local o presión barométrica sobre la superficie libre del líquido, en kg/m².

p_{man} = presión relativa del punto q, medida con manómetro, en kg/m².

$z_o - z_q$ = profundidad o tirante del punto q, en m.

P_{abs} = presión absoluta del punto q, medida a partir del cero absoluto de presiones, en kg/m².

La presión atmosférica local depende de la altitud (elevación del sitio con respecto al nivel del mar), del lugar en que se encuentra el líquido, así como de las condiciones climatológicas del sitio.

La presión hidrostática que comúnmente se mide, es tomada como cero de referencia a la presión atmosférica y a esta presión se le denomina manométrica.

Lo anterior se explica así:

$$P_{abs} = p_{bar} + p_{man} = p_a + (z_o - z_q)$$

donde:

p_a = presión atmosférica local o presión barométrica sobre la superficie libre del líquido, en kg/m²

p_{man} = presión relativa q, medida con manómetro, en kg/m²

$z_o - z_q$ = profundidad o tirante del punto q, en m

p_{abs} = presión absoluta del punto q, medida a partir del cero absoluto de presiones, en kg/m²

la presión atmosférica local depende de la altitud (elevación del sitio con respecto al nivel del mar), del lugar en que se encuentre el líquido, así como de las condiciones climatológicas del sitio.

La presión hidrostática que comúnmente se mide, es tomada como cero de referencia a la presión atmosférica local y a esta presión se le denomina manométrica.

Barómetros:

el dispositivo para medir la presión atmosférica local se llama barómetro, consiste en un tubo de vidrio lleno de mercurio con un extremo cerrado y el otro abierto con una escala adosada (para poder medir determinados valores de h), sumergido de un recipiente que contiene dicho elemento.

La presión atmosférica ejercida sobre la superficie del mercurio en el recipiente, lo fuerza a elevarse dentro del tubo hasta alcanzar la columna de altura h, que equilibra la presión atmosférica, expresándose así:

$$P_a = \rho g h_b$$

Donde:

$$\rho_{Hg} = \text{peso volumétrico del mercurio} = 13595 \text{ kg/m}^3$$

a nivel del mar a la temperatura de 15° C la presión atmosférica es de 10333 kg/m², denominada presión atmosférica normal o estándar.

Entonces la correspondiente altura barométrica del mercurio es:

$$H_b = 10333/13595 = 0.76 \text{ m}$$

La presión barométrica varía con la altitud (altura m.s.n.m.) y con las condiciones climatológicas.

Manómetros:

Los dispositivos para medir las presiones relativas, denominadas simplemente presiones hidrostáticas, se llaman manómetros y son tubos unidos a depósitos, tuberías o canales con el fin de medir su presión.

Los manómetros se clasifican, en:

Simples:

Rama abierta Piezómetros

Tubo u con líquido más denso que el del conducto o depósito

Cerrados (manómetro metálico de carátula)

Diferenciales

Micromanómetros

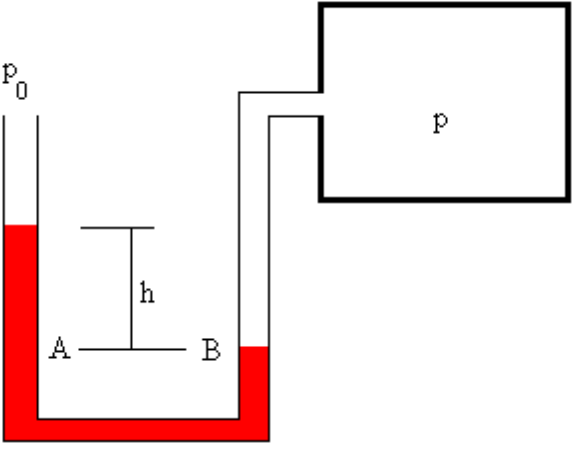
Piezómetros: son manómetros simples de rama abierta cuya característica principal es que contienen solamente el líquido que pasa por el conducto, este consiste en un tubo transparente de cristal o plástico, recto o con un codo, de diámetro pequeño (mayor de 5 mm para evitar el fenómeno de capilaridad y tener que hacer una corrección por meniscos). Este tubo se conecta al punto en que se quiere medir la presión, practicando cuidadosamente en la pared del recipiente o tubería un orificio, que se llama orificio piezométrico; el otro extremo se deja abierto a la atmósfera.

El líquido que lleva en su interior el conducto o depósito, asciende hasta alcanzar el equilibrio, determinándose entonces la presión mediante la distancia vertical h desde el menisco (en la superficie libre del líquido), hasta el punto de interés; en unidades de carga de presión o multiplicando estos por el peso volumétrico del líquido, para obtener unidades de presión.

Manómetro simple cerrado:

Es el manómetro Bourdon (metálico de carátula), es un aparato integrado por una carátula y una aguja que es accionada por un elemento que soporta la presión, este es un tubo metálico curvado, cerrado por un extremo y por el otro se conecta al recipiente que contiene el fluido cuya presión va a medirse.

La esfera puede ser graduada con las unidades que se prefieran tales como: kg/cm² , mm de mercurio, metros de agua o lb/pulg².

	Manómetro simple de tubo u, con liquido mas denso al fluido del conducto o deposito. Para medir la presión empleamos un dispositivo denominado manómetro. Como A y B están a la misma altura la presión en A y en B debe ser la misma. Por una rama la presión en B es debida al gas encerrado en el recipiente. Por la otra rama la presión en A es debida a la presión atmosférica más la presión debida a la diferencia de alturas del líquido manométrico. $P = p_0 + gh$
---	--

Manómetros diferenciales:

Por lo general son manómetros que miden la diferencia de presiones entre dos puntos, cuando la presión real en cualquier otro punto del sistema no puede o no se desean, determinar.

$$P_A + h_1 + h_3 - h_2 = p_B$$

$$P_B - P_A = h_1 + h_2 + h_3$$

Micromanómetros:

Son aparatos que sirven para determinar diferencias de presión muy pequeñas o presiones con mucha precisión.

Métodos de resolución de manómetros

Método americano: consiste en seguir el desarrollo del manómetro partiendo de uno de los puntos extremos, hasta llegar al otro.

$$P_A + h_1 + h_3 - h_2 = p_B$$

$$P_A - P_B = h_1 + h_2 + h_3$$

Método del plano de equilibrio: consiste en determinar un plano de equilibrio en el interior del manómetro, partiendo hacia los puntos extremos del manómetro, de acuerdo con el corolario 2, del teorema principal de la hidrostática, se tiene que:

$$p_1 = p_2$$

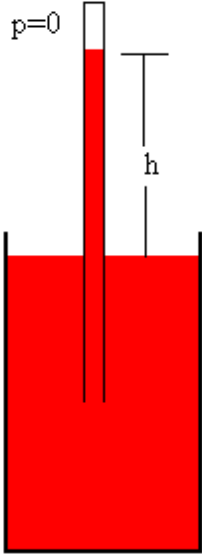
$$p_1 = p_A + h_1$$

$$p_2 = p_B + h_2 + h_3$$

sustituyendo

$$p_A + h_1 = p_B + h_3 + h_2$$

$$p_A - p_B = -h_1 + h_2 + h_3$$

	Experiencia de Torricelli Para medir la presión atmosférica, Torricelli empleó un tubo largo cerrado por uno de sus extremos, lo llenó de mercurio y le dio la vuelta sobre una vasija de mercurio. El mercurio descendió hasta una altura $h = 0.76$ m al nivel del mar. Dado que el extremo cerrado del tubo se encuentra casi al vacío $p = 0$, y sabiendo la densidad del mercurio es 13.55 g/cm^3 ó 13550 kg/m^3 podemos determinar el valor de la presión atmosférica. $p = \rho g h = 13550 \cdot 9.81 \cdot 0.76 = 101023 \text{ Pa} = 1.01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
---	---

Empuje sobre superficies planas:

La presión hidrostática total (F), conocida como empuje, es la presión hidrostática unitaria, aplicada al centro de gravedad de una superficie multiplicada por el área de esta.

Las características vectoriales del empuje en una superficie plana, la dirección de la presión hidrostática total es perpendicular a esta, ya que en reposo los líquidos no pueden generar fuerzas tangenciales.

El sentido es contra dicha superficie plana. El vector representativo es recto, por lo cual su línea de acción es recta (como la de toda fuerza), y pasa por el centro de presión, para el caso de superficies planas, se tiene que:

$$Y_{cp} = I_{CG} / A \cdot Y_{CG} + I_{CG}$$

La magnitud es igual a el área mojada de la superficie plana por la presión hidrostática unitaria que actúa en el centro de gravedad (centroide).

$$F = P_{CG} A = \rho g h_{CG} A$$

Determinación de la magnitud y dirección del empuje:

Para la determinación del empuje que actúa en uno de los lados de la superficie, primero el área será subdividida en elementos diferenciales dA , localizados en la profundidad genérica h , a una distancia y de la intersección O .

La fuerza que actúa en dA , es:

$$dF = p dA = \rho g h y \cos \theta dA$$

CADA una de las fuerzas dF , es normal al area correspondiente. La resultante de las fuerzas dF , que es el empuje (F) sobre el area total y es tambien normal, esta dada por:

$$F = \int df = \int y \cos \theta \, dA = \cos \theta \int y \, dA$$

Donde: y son constantes; la $\int y \, dA$ es el momento estático del area en relación al eje X; por tanto:

$$\int y \, dA = M_x = A y$$

donde:

y = a la distancia del centro de gravedad del area hasta el eje X.

A = area total.

Entonces:

$$F = \cos \theta \, y$$

Como:

$$Y \cos \theta = h$$

$$F = h A = h_{CG} A \text{ si } h_{CG} = p_{CG}$$

Donde:

F = presión hidrostática total (empuje) en la superficie plana mojada, en kg, (unidades de fuerza).

$p_{CG} = p$ = presión hidrostática unitaria en el centroide de la superficie plana mojada, en unidades de fuerza entre unidades de area (kg/m^2).

A = area mojada de la superficie plana (m^2).

La dirección del empuje sobre superficies planas siempre es normal ala area, el liquido que lo genera actúa, ya no se presentan fuerzas tangenciales al encontrarse en reposo. Se definirá siempre un ángulo respecto a la horizontal para identificar la dirección del empuje hidrostático.

Localización del centro de presión en superficies planas finitas.

Para determinar la fuerza F , hay que localizar el centro de presión (punto de aplicación del empuje), el que puede ser definido aplicándose el teorema de los momentos o de Varignon: El momento de la resultante con relación a la intersección O (eje x), debe igualar la suma de los momentos de las fuerzas elementales Df .

$$M_o = F y_{cp} = \int y \, Df$$

De las deducciones anteriores, se tiene:

$$DF = h \, dA = (y \cos \theta) dA$$

$$F = \cos \theta \, A y$$

Sustituyendo:

$$\cos \int_A y_{cp} = \int_A y \cos \theta dA$$
$$= \int_A y^2 dA$$

como:

$\int_A y^2 dA$ es el momento de inercia del area plana respecto al eje X, ósea:

$$\int_A y^2 dA = I_x$$

entonces:

$$A y_{CP} = I_x, y_{CP} = I_x / A$$

Como:

$$A = Mx$$

$$y_{CP} = I_x / Mx$$

donde:

y_{CP} = distancia del eje X (superficie libre del liquido) al centro de presion del area mojada (punto de aplicación de F), en unidades lineales (m).

I_x = momento de inercia de A con respecto al eje X, en unidades lineales a la cuarta potencia (m⁴).

Mx = momento estático de A respecto al eje X, en unidades lineales al cubo (m³).

Comúnmente el momento de inercia que es conocido, es relativo al eje que pasa por el centroide (centro de gravedad), por tanto el momento de inercia con respecto al eje X (I_x), conociendo el correspondiente al eje de la figura, que pasa por el centroide, de acuerdo al teorema de los ejes paralelos, se tiene:

$$I_x = I_{CG} + AY^2$$

Sustituyendo:

$$y_{CP} = I_{CG} + AY^2 / AY = I_{CG} / AY + y$$

$$y_{CP} = I_{CG} / AY + y$$

como:

$I_{CG} / A = p^2$, que es el cuadrado del radio de giro (del area relativo al eje que pasa por el C.G.), se tiene :

$$y_{CP} = y + p^2 / y$$

esto es, que el centro de presion esta siempre abajo del centro de gravedad, a una distancia igual a p^2 / y medida en el plano del area.

Para situar lateralmente la posición del centro de presión, cuando no existe simetría en la figura, se tiene, de acuerdo con el corte DD', el área elemental dA, ahora esta formada por dx y dy de manera que para los momentos puede tomarse la distancia x según convenga.

Tomando momentos con respecto al eje y, en relación con el teorema de Varignon, se tiene:

$$M_y = F_x \cdot x_{CP} = \int x \, dF$$

Al utilizar los valores obtenidos anteriormente,

$$\cos(\theta) \cdot x_{CP} = \int x \cdot y \cdot \cos(\theta) \, dA$$

$$(\cos(\theta)) \cdot x_{CP} = \int x \cdot y \, dx \, dy$$

pero:

$\int x \cdot y \, dx \, dy$ es el producto de la inercia del área plana respecto de los ejes X e Y seleccionados, representados por I_{xy} .

por tanto:

$$\int x \cdot y \, dx \, dy = I_{xy}$$

$$x_{CP} = I_{xy} / \cos(\theta)$$

Como:

$$\cos(\theta) = M_x$$

$$x_{CP} = I_{xy} / M_x$$

Donde:

x_{CP} = distancia del eje Y al centro de presión (punto de aplicación de F), en unidades lineales (m, pie, etc.)

I_{xy} = producto de inercia de A respecto a los ejes X e Y, en unidades lineales a la cuarta potencia.

M_x = momento estático de A respecto al eje X, en unidades lineales al cubo.

Por otro lado, de la teoría estática.

$$I_{45^\circ} = \frac{1}{2} (I_x + I_y) - I_{xy}$$

Donde:

I_x = momento de inercia del área mojada plana con respecto al eje X.

I_y = momento de inercia del área mojada plana con respecto al eje Y.

I_{45° = momento de inercia del área mojada plana con respecto a un eje a 45° del eje x que pasa por el origen.

Empuje sobre superficies curvas:

La resultante total de las fuerzas de presión (empuje), que obra sobre una superficie curva, está formada por la suma de los elementos diferenciales de fuerza ($df = p dA$), normales a la superficie. La determinación de la magnitud y posición de la resultante de estas fuerzas elementales, por los métodos usados para superficies planas presentan objeciones de cierta dificultad, sin embargo, con facilidad pueden determinarse las componentes horizontal y vertical de la resultante para luego combinarlas vectorialmente.

Considerando las fuerzas que obran sobre el prisma líquido limitado por la superficie libre ao , por la superficie vertical ob y por la superficie curva ab . El peso de este volumen es una fuerza (w), vertical hacia abajo, y la acción del resto del líquido al prisma considerado, es una fuerza horizontal (F_x), actuando de derecha a izquierda sobre ob .

Estas fuerzas (F_x , W), se mantienen en equilibrio al existir fuerzas iguales y opuestas de reacción de la superficie curva ab . Se deduce en consecuencia, que la componente horizontal (F_x) del empuje (resultante total de las presiones), sobre una superficie curva (aplicada en el mismo punto), es igual que la fuerza que actúa sobre la superficie plana vertical formada al proyectar la superficie curva en dirección horizontal.

De acuerdo con lo visto en empujes sobre superficies planas, se tiene (según fórmula):

$$F_x = p_{CG} A_y = \gamma h' A_y$$

Donde:

F_x = componente horizontal del empuje sobre superficie curva.

γ = peso volumétrico del líquido.

h' = tirante del centroide de la superficie plana vertical imaginaria.

A_y = área de la superficie plana vertical imaginaria, uno de cuyos bordes es ob y que es producto de la proyección horizontal sobre el plano vertical, de la superficie curva ab .

Por otra parte, la componente vertical de dicho empuje sobre la superficie curva, es igual al peso del líquido que se encuentra encima de esta y tiene su aplicación en el centro de gravedad del volumen del líquido. Un razonamiento semejante demuestra que cuando el líquido se encuentra debajo de la superficie curva, la componente vertical del empuje (F_y), es igual al peso del volumen imaginario del líquido, que se encontrará encima de la superficie, y queda aplicada hacia arriba pasando por su centro de gravedad.

$$dF_y = df \sin \theta = p dA \sin \theta = L \, dc \, h \sin \theta$$

$$= L \, h \, dc \, \sin \theta$$

como:

$$dc \sin \theta = dc_x$$

$$L \, h \, dc_x \sin \theta = L \, h \, dc_x = \text{volumen diferencial del pequeño prisma} = dV$$

Entonces:

$$dF_y = dV \, \gamma = dW \text{ (diferencial de peso)}$$

Integrando:

$$dF_y = dW = W F_y = W$$

peso del prisma líquido imaginario (o real), actúa hacia arriba pasando por el C.G. del prisma (o hacia abajo cuando el líquido se encuentra sobre la superficie curva).

La magnitud del empuje, de acuerdo al teorema de Pitágoras ; vale:

$$F = \sqrt{F_y^2 + F_x^2}$$

Para superficies curvas formadas por mantos de cilindros de generatriz horizontal, el centro de presión está dado por:

$$\text{Elevación CP} = \text{elevación cc} - R \sin$$

Donde:

Elevación CP = elevación del centro de presión.

Elevación cc = elevación al centro de curvatura.

R = radio.

= ángulo que forma el empuje con la horizontal.

La dirección para superficies curvas circulares siempre será radial y está definida por el ángulo que forma el empuje con la horizontal (θ), que por trigonometría, se tiene que:

$$\text{Tg } \theta = F_y / F_x, \quad \theta = \arctan F_y / F_x$$

El sentido del empuje es contra la superficie curva.

Flotación de cuerpos

Cuerpos flotantes son aquellos cuyos pesos son inferiores a los pesos de los volúmenes de líquidos que ellos puedan desalojar al ser sumergidos en estos.

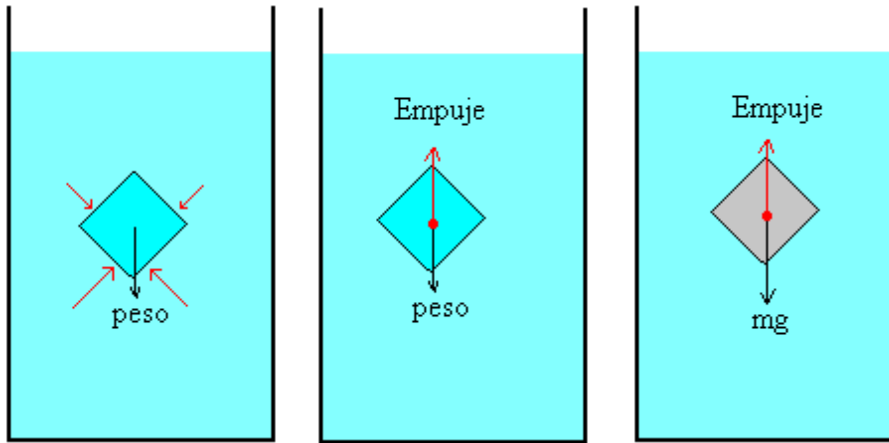
Efectivamente la fuerza ascendente que actúa sobre un cuerpo sumergido en un fluido es simplemente el resultado de dos fuerzas hidrostáticas verticales: una, la componente ascendente de la presión total ejercida por el fluido sobre la superficie inferior del cuerpo, y la otra, la componente descendente de la presión total ejercida por el fluido sobre la superficie superior. Como la presión unitaria aumenta con la profundidad, la componente ascendente es mayor que la descendente, por tanto, la resultante es una fuerza ascendente o de flotación.

Principio de Arquímedes

El principio de Arquímedes afirma que todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso de fluido desalojado.

La explicación del principio de Arquímedes consta de dos partes como se indica en la figuras:

- El estudio de las fuerzas sobre una porción de fluido en equilibrio con el resto del fluido.
- La sustitución de dicha porción de fluido por un cuerpo sólido de la misma forma y dimensiones.



Porción de fluido en equilibrio con el resto del fluido.

Consideremos, en primer lugar, las fuerzas sobre una porción de fluido en equilibrio con el resto de fluido. La fuerza que ejerce la presión del fluido sobre la superficie de separación es igual a $p \cdot dS$, donde p solamente depende de la profundidad y dS es un elemento de superficie.

Puesto que la porción de fluido se encuentra en equilibrio, la resultante de las fuerzas debidas a la presión se debe anular con el peso de dicha porción de fluido. A esta resultante la denominamos empuje y su punto de aplicación es el centro de masa de la porción de fluido, denominado centro de empuje.

De este modo, para una porción de fluido en equilibrio con el resto se cumple

$$\text{Empuje} = \text{peso} = f \cdot g \cdot V$$

El peso de la porción de fluido es igual al producto de la densidad del fluido f por la intensidad de la gravedad g y por el volumen de dicha porción V .

Se sustituye la porción de fluido por un cuerpo sólido de la misma forma y dimensiones.

Si sustituimos la porción de fluido por un cuerpo sólido de la misma forma y dimensiones. Las fuerzas debidas a la presión no cambian, por tanto, su resultante que hemos denominado empuje es el mismo, y actúa sobre el mismo punto, es decir, sobre el centro de empuje.

Lo que cambia es el peso del cuerpo y su punto de acción que es su propio centro de masa que puede o no coincidir con el centro de empuje.

	Por tanto, sobre el cuerpo actúan dos fuerzas el empuje y el peso del cuerpo, que no tienen en principio el mismo valor ni están aplicadas en el mismo punto. En los casos más simples, supondremos que el sólido y el fluido son homogéneos y por tanto coinciden el centro de masa del cuerpo con el centro de empuje.
--	--

UNIDAD III

CINEMÁTICA DE LÍQUIDOS

Introducción:

Es la parte de la hidráulica que trata de las leyes físicas que gobiernan el movimiento de los líquidos, principalmente el agua.

Suponiendo ahora que la partícula comienza a moverse y como debe obedecer a las mismas leyes dinámicas de los sólidos, resulta que habar sido precisa la aplicación de una fuerza, para dar lugar a una aceleración y provocando así una velocidad, haciendo que modifique su estado de reposo. El único modo de aplicar una fuerza a la partícula consiste en modificar las presiones que sobre la misma ejerce el liquido que lo rodea.

Al movimiento de un liquido (o fluido), se le llama flujo, un flujo liquido es una corriente liquida o sea un desplazamiento en una determinada dirección de una masa liquida.

Los tres principios fundamentales que se aplican al flujo de líquidos.

- el principio de conservación de la masa, a partir de la cual se establece la ecuación de continuidad.
- El principio de la energía cinética, a partir del cual se deduce ciertas ecuaciones aplicables al flujo.
- El principio de la cantidad de movimiento, a partir del cual se deducen las ecuaciones para calcular las fuerzas dinámicas, ejercidas por los fluidos en movimiento.

Corrientes liquidas:

Se entiende por corriente liquida o flujo liquido, al desplazamiento en una ruta determinada de una masa o cuerpo liquido.

Trayectoria:

Se define a una trayectoria, como el lugar geométrico de las posiciones de una misma partícula, al transcurrir el tiempo.

A través del tiempo (t)

Línea de corriente:

Es una curva imaginaria, donde en cada uno de sus puntos tiene por tangente el segmento dirigido, que representa la velocidad en dicho punto para un tiempo considerado. En general las líneas de corriente varían con el tiempo, pueden ser convergentes, divergentes o paralelas, pero nunca cortarse. En el caso del movimiento permanente, las líneas de corriente son fijas y coinciden con las trayectorias.

De lo anterior se puede apreciar la diferencia entre trayectoria y línea de corriente; las primeras se refieren a las líneas recorridas por cada partícula liquida al correr el tiempo y las segundas están constituidas por las envolventes de las velocidades de todas las partículas en un determinado instante.

Tubo de corriente:

Un tubo de corriente es, la región parcial del flujo liquido que se encuentra delimitado por una familia de líneas de corriente que lo confinan. Se tiene un tubo de corriente, cuya sección es suficientemente pequeña, entonces podremos ver que la velocidad en el punto medio de una sección cualquiera; estará definida como la velocidad media.

Tipos de movimiento de partículas líquidas:

- movimiento laminar: cuando las partículas al moverse describen trayectorias paralelas, su número de Reynolds (Re) es igual o menor 2000, sus pérdidas de energía por recorrido son función lineal de la velocidad, y el diagrama de velocidad es parabólico.
- Movimiento turbulento: cuando las partículas líquidas al moverse describen trayectorias sinuosas en el espacio, su número de Reynolds (Re), es mayor o igual a 4000, sus pérdidas de energía por recorrido son función cuadrática de la velocidad de ellas y el diagrama de velocidades de la corriente es aproximadamente rectangular.

Cuando el número de Reynolds (Re), está comprendido entre 2000 y 4000, el movimiento de las partículas se le denomina Transicional o Zona crítica.

Gasto o caudal (Q)

Se entiende por caudal o gasto de una corriente líquida al volumen de agua, que en la unidad de tiempo atraviesa la sección normal de dicha corriente y se mide por tanto, en unidades de volumen entre unidades de tiempo (m³/seg, l/seg, etc).

En general, para determinar el caudal que atraviesa una superficie finita de área A, en el seno de un fluido, se inicia por obtener el que atraviesa una superficie plana elemental (dA). El vector velocidad V de la corriente, formará un ángulo 90° con el plano de la superficie elemental considerada.

El volumen del fluido que atraviesa la superficie DA en el tiempo dt, es igual al volumen de un prisma oblicuo de base DA y de altura Vndt = v cos dt; siendo Vn la componente de V normal al plano referido. Por lo que:

$$dQ \, dt = Vn \, dt \, dA$$

$$dQ \, dt = Vn \, dA$$

Esta última expresión indica que el gasto de una superficie elemental, es igual al producto de su área por la componente de la velocidad normal a dicha superficie;

$$Q = \int A \, Vn \, dA$$

Si la velocidad puntual puede ser integrada, si es conocida la distribución de velocidad en toda la sección.

Si la velocidad puntual es variable en la sección considerada (Vn " Cte), se define una velocidad media v, tal que:

$$V = \int A \, Vn \, dA / \int A \, dA = Q/A$$

De donde:

$$Q = A \cdot v$$

Fórmula general del gasto.

Donde:

$$Q = \text{gasto en m}^3 / \text{seg}$$

A = area de la sección normal en m²

V = velocidad media en m / seg.

Velocidad media:

Se llama velocidad media a la medida aritmética de las componentes normales (a la selección) de las velocidades de todos los filetes de la corriente (tubos de corriente de dimensiones transversales infinitesimales), esto es que el gasto (Q), resulta del producto de la velocidad por el area de la sección transversal, por su formula, queda de la siguiente forma:

$$\text{Velocidad media} = v = Q/A$$

Ecuación de la continuidad:

Cuando una corriente mantiene o conserva constante su gasto en un tramo, se dice que la corriente es continua en este.

De acuerdo a la definición se tiene que:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_N$$

Y por la formula general del gasto :

$$Q = A_1v_1 = A_2v_2 = A_3v_3 = A_Nv_N = \text{constante}$$

Esta ecuación corresponde al principio de continuidad mencionado anteriormente, motivo por el cual se le denomina ecuación de continuidad.

Elementos de la sección transversal de una corriente:

Las secciones transversales de una corriente pueden ser naturales o artificiales, en las secciones naturales la forma de estas por lo general siempre es irregular.

En las secciones artificiales su geometría se construye en forma regular, pudiendo ser de conducto abierto o cerrado.

Las secciones artificiales de conducto abierto pueden ser rectangular, trapecial y eventualmente semicirculares.

Las secciones artificiales de conducto cerrado pueden ser circulares; en herradura o rectangular.

Estas secciones pueden ser a conducto lleno, en cuyo caso el liquido ejerce una determinada presion (mayor que la atmosférica), sobre todo el perímetro de la sección, entonces se dice que el conducto esta trabajando como tubería, o a conducto semillero (con una superficie libre interior donde actúa la presion atmosférica).

Los principales elementos de la sección transversal de una corriente a superficie libre son:

Tirante (d), es la máxima distancia del piso del cause al espejo del liquido (SLA).

Area hidráulica (A), es la superficie de la sección transversal a la corriente.

Ancho de la superficie libre del agua (T), es la longitud de la lamina en la superficie libre del agua (SLA), en la sección transversal de la corriente.

Perímetro mojado (p), es la longitud de la traza (intersección), de la corriente confinada con un plano normal a ella

Radio hidráulico (r), es el cociente del area hidráulica entre el perímetro mojado.

Cuando se tiene una corriente con superficie libre (rió, canal abierto o cubierta), los elementos anteriores se determinan se la siguiente manera:

$$A = \text{area hidráulica (trapezio } ikl) = bd + 2(md) d/2$$

$$P = \text{perímetro mojado (línea ijkl)} = b + 2d \sqrt{1 + m^2}$$

$$R = \text{radio hidráulico} = A/p = bd + md^2 / b + 2d \sqrt{1 + m^2}$$

$$T = \text{ancho de la SLA (línea il)} = b + 2md$$

En las que:

B = ancho de plantilla en m

D = tirante del canal en m

M = talud del canal (adimensional)

R = radio hidráulico en m

P = perímetro mojado en m

A = area hidráulica en m²

$$D = D/2 - D/2 \cos \theta/2 (1 - \cos \theta/2)$$

$$T = 2D/2 \sin \theta/2 = D \sin \theta/2$$

$$A = 2[R^2(\theta/360) - r \sin \theta/2 R \cos \theta/2]$$

$$= R^2 (\theta/360 - R^2 \sin \theta/2 \cos \theta/2$$

$$\text{pero: } \sin \theta/2 \cos \theta/2 = \frac{1}{2} \sin 2(\theta/2) = \frac{1}{2} \sin \theta$$

$$\text{y } \theta \text{ (en grados)} = 180/r ; r = \text{ dado en radianes.}$$

$$A = R^2 180/r/360 R^2(\sin \theta/2) = R^2/2 r - R^2/2 \sin r$$

$$A = R^2/2 (r - \sin r); r \text{ dado en radianes}$$

$$\text{Como: } D/2 \text{ y } r = \theta/180$$

$$A = (D/2)^2 \frac{1}{2} (\theta/180 - \sin \theta) = D^2/4 (\theta/360 - \sin \theta/2); \text{ en grados}$$

$$\cos \theta/2 = D/2 - d / D/2 = 1 - 2d / D$$

$$\text{Por lo que: } \theta = 2 \arccos (1-2d/D)$$

$$(T/2)^2 = (D/2)^2 - (D/2 - d)^2 = Dd - d^2 = d (D-d)$$

$$T = 2 \sqrt{D(D-d)}$$

$$P = D / 360$$

$$R = A/p = D^2/4 (\theta / 360 - \sin \theta/2) / D / 360 = D^2/4 [360 \theta / 360 D - 360/2 D \sin \theta]$$

$$R = D/4 [1 - 360/2 \sin \theta] ; \text{ en grados}$$

$$R = D/4 [1 - \sin r / r] ; r \text{ dado en radianes}$$

Cuando la corriente esta totalmente confinada (entubada), no se conoce el tirante porque no hay superficie visible, para determinar el espejo del liquido (SLA) habrá que insertar un piezómetro, en el cual el agua (o liquido), asciende espontáneamente hasta alcanzar determinado nivel (SLA).

Si en un tramo de la corriente entubada se instala una serie de piezómetros y los niveles piezometricos se unen por una línea, a esta línea se le denomina línea piezometrica (L.P.).

La distancia de un punto de una corriente a la línea piezometrica (L.P.), recibe el nombre de carga de presion de dicho punto, tal carga por el peso volumétrico (γ) del liquido, da la presion de dicho punto, por tanto la máxima carga de presion en una corriente es el tirante (en una sección vertical determinada, todas las distancias medidas a la L.P. se miden en plano vertical).

Numero de Reynolds (Re):

El numero de Reynolds (Re), es un parámetro adimensional que permite diferenciar el tipo de movimiento de partículas liquidas en corrientes, con lo cual se pueden seleccionar la forma mas adecuada de evaluación de las perdidas de carga por fricción o recorrido; su formula nos determina la preponderancia de las fuerzas viscosas o de rozamiento sobre las de inercia:

$$Re = V \cdot D / \nu$$

En las que:

Re = numero de Reynolds es adimensional

V= velocidad media en m /seg

D = diámetro de la corriente en m

ν = densidad en kg seg² / m²

μ = viscosidad absoluta en kg seg / m²

Numero de Froude (Fr):

El numero de Froude interviene en la diferenciación de tipos de resalto y en el diseño geométrico de

disipadores de energía cinética, así como de modelos hidráulicos físicos, entre otras cosas, su formula es:

$$Fr = v / \sqrt{gD}$$

En la que:

Fr = numero de Froude, es adimensional

V = velocidad media en m /seg

G = aceleración de la gravedad en m / seg²

D = profundidad hidráulica, en m

D = A/T = area hidráulica, en m² / ancho de la SLA, en m

Clasificación de las corrientes liquidas:

1.- de acuerdo con el movimiento de sus partículas, las corrientes pueden ser:

- laminares o irrotacionales, si el movimiento es laminar como en las redes de flujo, localizadas en cortinas de tierra o corrientes subterráneas a través de formaciones permeables.
- Tuberías o rotacionales, si el movimiento es turbulento como sucede en los canales o rios.

2.- de acuerdo con la constancia de su gasto, pueden ser:

- continuas, cuando en todo su desarrollo el caudal es el mismo, por ejemplo, en las tuberías simples.
- Discontinuas, cuando solo en partes de su desarrollo es constante su gasto, como ejemplo, tuberías con ramales de derivación de inyección.

3.- de acuerdo a la variación respecto al tiempo.

- permanentes o establecidas cuando no varían las características de la sección respecto al tiempo y a las coordenadas del espacio.
- No permanentes o no establecidas, cuando las características de la sección son variables respecto al tiempo y a las coordenadas del espacio.

4.- de acuerdo con su régimen.

- corrientes de régimen uniforme, son aquellas que sus elementos técnicos se mantienen constantes en un tramo o en todo su desarrollo, por lo que el tirante (d), la velocidad (v), el gasto (Q), la geometría de su sección normal, de pendiente de las líneas piezometricas y de energía, etc, no cambian, esto es posible en canales artificiales, por ello reciben el nombre de canales prismáticos.
- De régimen variado, cuando los elementos técnicos de la corriente no se muestra constante, pudiendo ser esta variación en forma brusca (salto hidráulico) o gradual (remanso).

Y

XX

Z

F_x

F_i

F_{zr}

z

y

x

F_{zp}

F_y

W

F_i

x

y

L