HIDRÁULICA APLICADA

CARACTERISTICAS DE LOS CHORROS FLUIDOS

Se llama chorro, a la corriente que sale de un orificio, tobera o tubo. No esta limitado por paredes sólidas, sino por un fluido cuya velocidad es menor que la propia. El *chorro Libre* es una corriente liquida rodeada por un gas, y esta por lo tanto, bajo la influencia directa de la gravedad. El *chorro sumergido* es una corriente de un fluido cualquiera, rodeada por otro fluido de la misma clase. A causa de la flotación producida por el fluido ambiente, el chorro no esta bajo la acción directa de la gravedad.

TRAYECTORIA DEL CHORRO

Un chorro libre en el aire describe una *trayectoria*, o camino bajo la acción de la gravedad con una componente vertical de velocidad continuamente variable. La trayectoria es una línea de corriente y por consecuencia, despreciando la presión del aire, puede aplicarse el Teorema BERNOULLI, con todos los términos de presión nulos. Luego la suma de la elevación y la columna de presión deben ser constantes en todos los puntos de la curva. El gradiente de energía es una recta horizontal a una altura $V^2/2g$ sobre la tobera, siendo V la velocidad de salida del orificio o tobera.

La ecuación de la trayectoria puede obtenerse aplicando las Leyes NEWTON para movimiento uniformemente acelerado, a una partícula del liquido que pasa desde la tobera hasta un punto genérico P de coordenadas x, z en un tiempo t.

Así, $x = V_x t$ y $z = V_z t - ½ g \cdot t^2$. Despejando t en la primera ecuación e introduciéndolo en la segunda, obtenemos:

$$z = \frac{V_z}{V_x} x - \frac{g}{2V_x^{\,2}} x^2$$

Dado que la velocidad en la cúspide de la trayectoria es horizontal e igual a V_x, la distancia desde este punto al gradiente de energía es $V_x^2/2g$.

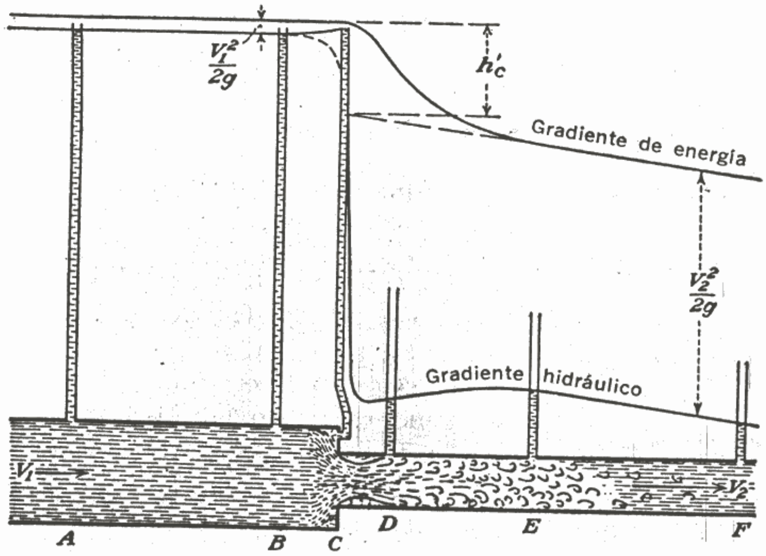
COEFICIENTE DE VELOCIDAD (C_V)

El coeficiente de velocidad indica la medida en que la *fricción* retarda la velocidad de un chorro de fluido real. Para los orificios circulares de bordes afilados, puede variar entre 0, 95 y 0,994.

PERDIDA DEBIDA A LA CONTRACCION

Los fenómenos resultantes de la contracción repentina de una corriente, están ilustrados en el siguiente grafico, que muestra una pronunciada caída de presión debida tanto, al aumento de velocidad como a la perdida de energía por turbulencia. Se observa que del lado de Corriente Arriba de la sección *C* hay un aumento de la presión debido al hecho que aquí se curvan las líneas de corriente estando la variación de presión de *B* a *C*, indicada por la curva de línea cortada.

Con el fin de reducir estas perdidas, deben evitarse los cambios bruscos de sección transversal. Esto puede impedirse pasando de un diámetro a otro por medio de una curva suave. Esta curva puede reemplazarse por un tronco de cono, sin mayor aumento de la perdida, siendo el ángulo adecuado del mismo, entre 30º y 40º.



PERDIDAS EN CURVAS Y CODOS

En el flujo entorno de una curva, o codo, hay un aumento de la presión a lo largo de la pared externa y una disminución en la interna. A medida que la corriente tiende a la velocidad normal Corriente Abajo, la presión sobre la pared interna debe volver aumentar. El resultado de esta condición de desequilibrio, es la producción de un flujo secundario que se combina con la velocidad para formar un flujo en doble espiral que persiste sobre cierta distancia, por lo tanto la velocidad puede no normalizarse hasta una distancia que puede llegar a los 100 diámetros Corriente Abajo de la curva, así mas de la mitad de la perdida por fricción ocasionada por una curva o codo, se produce en la parte recta que le sigue.

COEFICIENTE DE CONTRACCION (C_c)

Este coeficiente determina el grosor del chorro que puede emerger de un área de orificio dado. Su valor esta por lo general comprendido entre 0,50 y 1,00. En la Hidrodinámica clásica, el valor de C_c es $\pi / (\pi + 2) = 0{,}611$ que es prácticamente el valor de los orificios circulares normales de bordes afilados.

Todo dispositivo que provea un diámetro constante sobre cierta distancia antes de la salida o la punta de una tobera eliminan, por lo general, toda contracción y producen un $C_c = 1$. Sin embargo aunque el grosor del chorro aumenta, también aumenta la fricción y como el C_c es muy sensible a las alteraciones del borde del orificio se puede obtener un aumento sustancial del mismo redondeando ligeramente el borde del orificio.

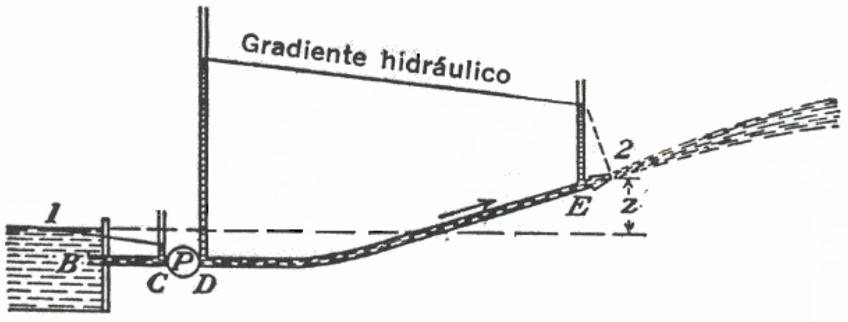
COMPORTAMIENTO DE LA TOBERA

La altura que puede alcanzar el chorro producido por una tobera (lanza de manguera), está entre los 2/3 y los ¾ de la altura efectiva de la columna (presión) en la base de la tobera, la proporción es mayor para los chorros grandes que para los pequeños, y mayor para presiones bajas en la base que para presiones altas.

Mediante ensayos, se ha demostrado que el máximo alcance que ocurre idealmente cuando la inclinación inicial de la tobera es de 45º se reduce a 30º por la fricción del aire y la dispersión del chorro. Los mismos ensayos han demostrado que un aumento de la presión en la base de la tobera por encima de los 13 kg/cm^2 no produce aumento del alcance en un chorro de 40 mm de diámetro. También han demostrado que lo mas importante para mejorar el comportamiento de las lanzas de mangueras para incendios es el evitar la turbulencia que tiende a producirse a causa de la variación brusca de la sección transversal o la dirección del chorro dentro de la tobera. Se hallo que la mejor forma de tobera es la de sección convergente, sin la boquilla convencional.

CAÑERIA CON BOMBA

Si una bomba eleva liquido de un deposito a otro, como se aprecia en el siguiente grafico, no solo realiza trabajo elevando el liquido en la altura *Z*, sino que también vence la perdida por fricción en el caño. Esta columna de fricción es equivalente a cierta altura adicional de elevación, de modo que el efecto es el mismo que si la bomba elevara el liquido a la altura $Z+h_f$, sin perdida. La columna total de bombeo es, en este caso, $h=Z+h_f$.



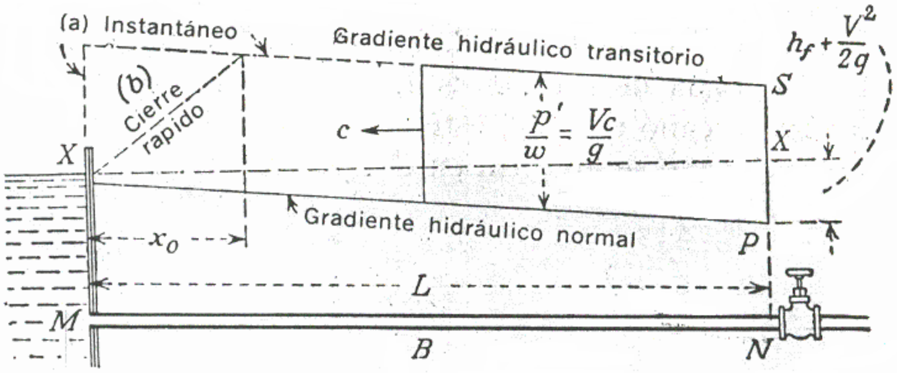
Si la bomba descarga a través de una tobera (de lanza) no solo se ha elevado el liquido a la altura Z, sino que se la ha entregado una energía cinética proporcional a la $V_2{}^2 / 2g$, siendo V_2 la velocidad del chorro. Así la columna total de bombeo es:

$$h = Z + \frac{V_2{}^2}{2g} + h_f$$

ARIETE HIDRAULICO

Si se disminuye repentinamente la velocidad de un liquido en una cañería por el accionamiento de una válvula, se manifiesta un fenómeno denominado *ariete hidráulico* o *golpe de ariete.*

Supongamos que en el grafico que se observa a continuación, la válvula N se cierra instantáneamente, la lamina de agua próxima a la válvula será comprimida por el resto de la columna de agua que se mueve contra ella, al mismo tiempo que las paredes del caño (manga), que rodean estas laminas se estiran como consecuencia del exceso de presión. A continuación se para la lamina de liquido siguiente, y así, sucesivamente. El agua contenida en el caño no se comporta como un cuerpo incompresible, sino que el fenómeno es afectado a la vez, por la elasticidad del agua y la del caño (manga). De esta manera, la sobre presión resultante, avanza a lo largo del caño como una acción ondulatoria, con una velocidad estándar entre 600 y 1200 m/s dependiendo de los módulos de elasticidad de los elementos que constituyan el caño o manga.

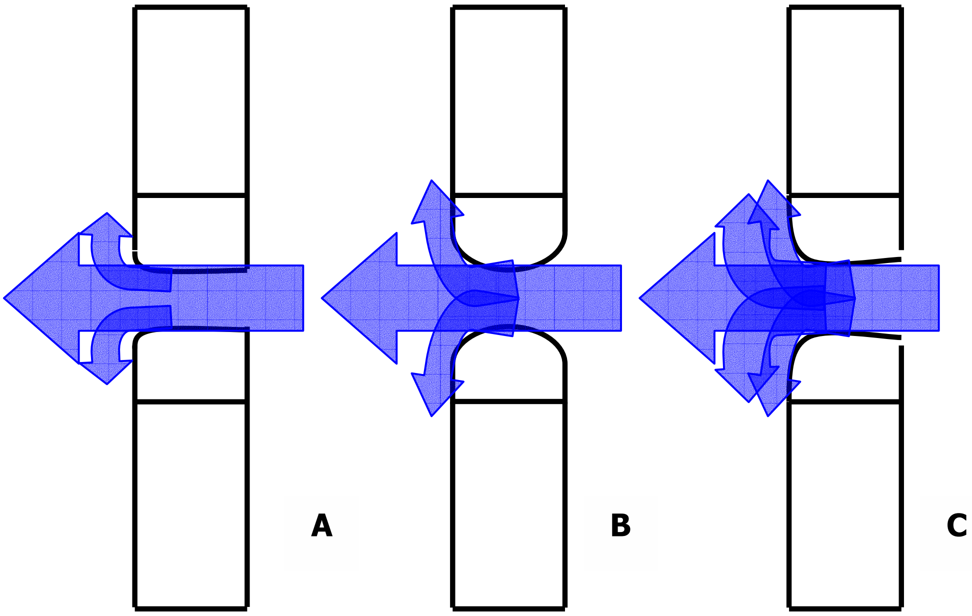


COEFICIENTE DE ROZAMIENTO

Se ha descrito ya, la salida de agua por un orificio. Se ha explicado que si se practica un orificio en la pared delgada, el efecto es que la velocidad resulta alta, pero el caudal es sólo un 60 % del teórico. Si en lugar de un orificio, como se dijo anteriormente, se agrega un tubo corto, el caudal descargado es aproximadamente el 80 % del teórico, pero la velocidad es menor en proporción.

Para llevar el estudio más allá, consideraremos la pérdida de presión en una tubería. Se ha demostrado que cuando el agua pasa por un orificio, se pierde energía, y que, agregando un tubo corto, disminuye esa pérdida. Pero si, además, la entrada del orificio se redondea en forma de darle una curvatura –tan semejante como se pueda- a la de la línea de corrientes convergentes, la pérdida de energía puede reducirse hasta un mínimo.

Por ejemplo, si hubiera tres orificios como los de la figura 10, en el primer orificio *A*, donde el borde interno está ligeramente redondeado, el agua sale con una contradicción parcial; en *B*, donde el orificio está más redondeado, hay menos contradicción, mientras que en el *C*, no hay contradicción alguna.



Las leyes que rigen la pérdida de presión del agua al paso por un tubo canal son:

1º - La pérdida de presión es proporcional a la longitud de la superficie.

2º - La pérdida de presión aumenta con la rugosidad de la superficie.

3º - La pérdida de presión disminuye con el aumento del diámetro.

4º - La pérdida de presión aumenta con el aumento de la velocidad.

De estas leyes se puede extraer una fórmula del modo siguiente:

Diremos en primer lugar que, en virtud de la primera ley, si llamamos *L* a la longitud, la pérdida de presión será proporcional a *L* (en un tubo de 400 m de largo la pérdida de presión será el doble de la que se verifique en un tubo que presente las mismas condiciones y de 200 m).

Entonces, siendo el rozamiento (del mismo modo que la pérdida de presión) proporcional a *L*, si llamamos *f* al factor o coeficiente de rozamiento, que depende de la rugosidad de los conductos, tenemos que multiplicarlo *f x L* , habemos obtenido parte de la fórmula.

Además, se deduce de la tercera ley que el rozamiento disminuye a medida que el diámetro aumenta. Esto significa que en un tubo de 25 mm de diámetro interior, el rozamiento es proporcionalmente mucho mayor que en un tubo de 50 mm de diámetro; y en un tubo de 50 mm de diámetro, mucho mayor que en uno de 100 mm de diámetro, y así sucesivamente. En otras palabras, el rozamiento no está en razón directa, sino en razón inversa o indirecta del diámetro. Por lo tanto, emplearemos el diámetro como divisor para deducir la fórmula que estamos buscando, es decir 1/d, donde d representa el diámetro.

Ya hemos obtenido tres factores, que son:

$$fxLx\frac{1}{d} = fx\frac{1}{d}$$

Así hemos cumplido con las tres primeras leyes.

La cuarta ley nos decía: "La pérdida de presión aumenta con el aumento de la velocidad". Como se recordará, en lo explicado en el párrafo "Como hallara la velocidad", se demostró que la presión o la altura *h* que produce la velocidad, era igual al cuadrado dividido por el doble de la gravedad. Dicho matemáticamente:

$$h = \frac{V^2}{2g}$$

Agreguemos esto a la parte de la fórmula que ya conocemos, y obtendremos:

$$h = fxLx\frac{1}{d} = \frac{V^2}{2g} = fx\frac{d}{L}x\frac{V^2}{2g}$$

Para encontrar la pérdida de presión hay que conocer, independientemente de la longitud y diámetros del conducto o tubo, la velocidad del agua y el valor de coeficiente de rozamiento f.

El valor de f varía según la calidad del material de la cañería o conducto.

En un tubo de hierro fundido, limpio, el valor puede estar entre los 0,05 y 0,01. Un valor aproximado es 0,02. La determinación de f se puede obtener experimentalmente. Como ejemplo citaremos algunos coeficientes obtenidos en pruebas con tubos de fundición.

Diámetro del conducto (en metros)	**Velocidad en Metros por segundos**			
	1,216	**1,824**	**3,04**	**4,56**
0,0762	0,025	0,024	0,022	0,021
0,1524	0,023	0,022	0,020	0,019
0,2286	0,022	0,021	0,019	0,018
0,3048	0,022	0,020	0,018	0,017
0,4572	0,020	0,018	0,016	0,015

A. Freeman, conocida autoridad americana, efectuó experiencias para determinar el coeficiente de rozamiento en mangas de varios tipos y de 63,5 mm de diámetro.

Velocidad en m/seg	**1,216**	**1,824**	**3,04**	**4,56**
Mangas de tela sin forrar	0,038	0,038	0,037	0,035
Mangas de algodón con forro rugoso de goma	0,030	0,031	0,031	0,030
Mangas de algodón con forro de goma liso	0,024	0,023	0,022	0,019
Descarga en litros por minuto	274,5	414	688,5	1035

Como se ve, el coeficiente de rozamiento en el caso de las mangas con forro interior de goma liso, es casi el mismo que para los tubos de hierro liso de 76,2 mm de diámetro; mientras que en los otros tipos de mangas, aquél es mayor.

Es de tener presente cuando se quieran realizar experiencias de esta índole que la o las líneas deben ser rectas horizontales, ya que cuando presentan curvaturas (comunes en estos casos) la fricción aumenta.

Para aumentar las pérdidas en una tubería o línea de manga, usando la fórmula que se ha deducido, debe recordarse que todas las medidas deben estar dadas en metros.

HIDROSTATICA

Estudia los líquidos en reposo sometidos a la acción de la gravedad, las diversas presiones que ejercen sobre recipientes que los contienen, y las condiciones de equilibrio.

CUERPOS DE LA NATURALEZA

En general, se clasifican en:

CUERPOS

- SÓLIDOS
  - tienen forma propia
- FLUIDOS
  - carecen de forma propia
    - LIQUIDOS
      - presentan un volumen definido
    - GASES
      - se expanden

FUERZA Y PRESION

Los cuerpos ejercen entre si acciones que, en algunos casos, consisten en fuerzas que actúan sobre su superficie de contacto.

Admitiendo que la fuerza se distribuye de manera *uniforme* sobre la superficie de contacto, llamamos *presión* a la fuerza actuante por unidad de superficie.

$$P = \frac{F}{S}$$

Donde: P: fuerza por ejemplo en Kg.
S: superficie de contacto por ejemplo en m^2

Las unidades de presión pueden elegirse por supuesto como múltiplos o submúltiplos de las anteriores: t/m^2; Kg/cm^2; g/cm^2, etc.

1.1.1 Si la fuerza es consecuencia de la atracción terrestre la llamamos fuerza de *gravedad* o *peso*

Por ejemplo, un paralelepípedo de 50 Kg. De peso se apoya de dos maneras posibles sobre una mesa:

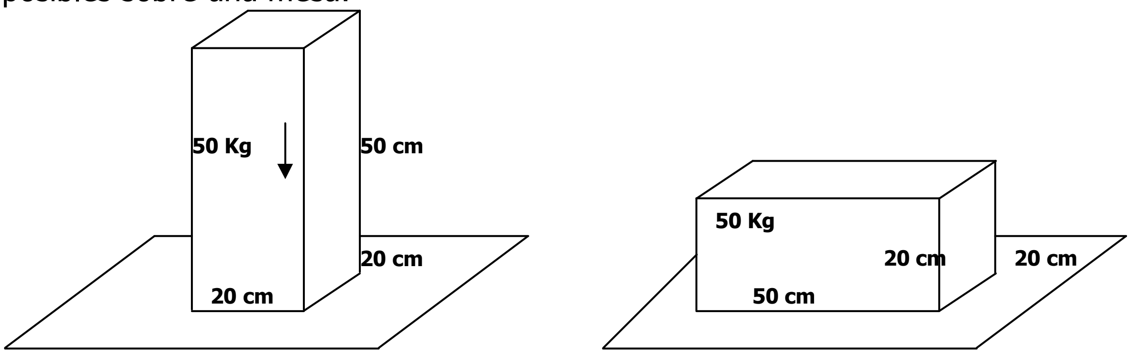


Fig. 1.1.1.

FUERZA: P = 50 Kg.

Sup. Contacto: S = $400cm^2$

Presión:

$$P = \frac{50Kg}{400cm^2} = 0{,}125\frac{Kg}{cm^2}$$

Sup. Contacto: S = $1000\ cm^2$

Presión:

$$P = \frac{50Kg}{1000cm^2} = 0{,}05\frac{Kg}{cm^2}$$

Se observa claramente la diferencia entre *fuerza* y *presión*; la fuerza actúa sobre una superficie cualquiera. La presión, en cambio, es fuerza por unidad de superficie.

PESO Y PRESION

El *peso* de un liquido cualquiera es la fuerza total que la masa ejerce sobre la superficie total que ocupa.

La presión ejercida por un liquido es el peso, pero considerado en un orden de unidades de peso con respecto a un orden de unidades de superficie.

Ilustraremos esto con un ejemplo: supongamos un caño de 1 cm^2 de sección, 1 m de altura y lleno de agua.

La capacidad total del caño será $100cm^3$, y como ya sabemos que 1 cm^3 de agua pesa un gramo, el peso del agua contenida en el caño será 100 gramos; y la presión por cm^2 también de 100 gramos, puesto que habría 100 cm^3 de agua, uno sobre otro, sumando sus pesos respectivos.

Pero no ocurrirá lo mismo si un caño de la misma altura tuviera un m^2 de sección, puesto que, mientras la masa de agua pesaría 1000 kg, la presión (que siempre se toma en kg por cm^2) seria de 100 g/ cm^3 , debido precisamente a que la altura de la columna de agua no habría variado (figura 3), ya que al permanecer de igual altura la columna, igual será el numero de cm^3 de liquido que la constituye.

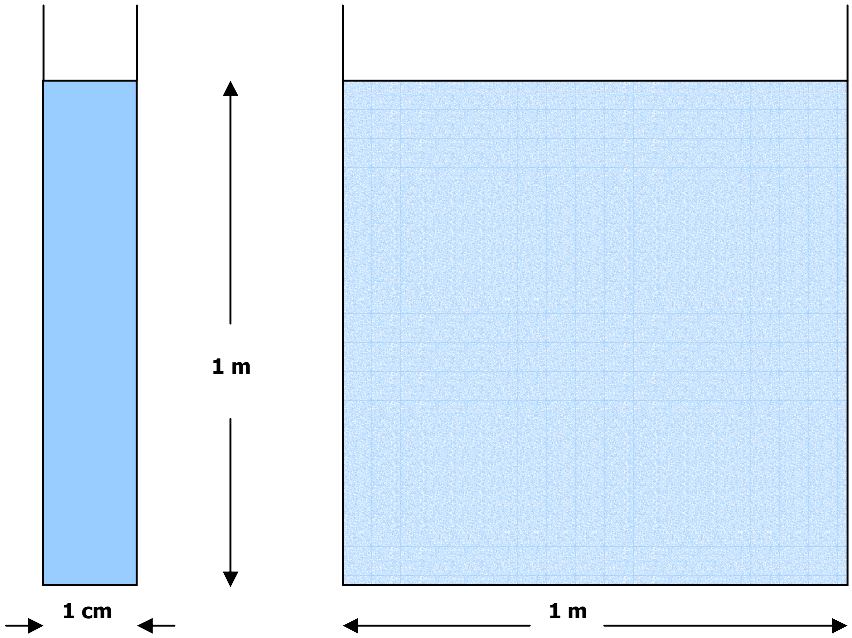


Fig. 3

De aquí, se deducen tres reglas importantísimas en hidráulica:

1. La presión de una masa estática de agua es directamente proporcional a la altura de dicha masa.

2. El volumen de una masa estática de agua es independiente de la presión ejercida por esta.

3. Un mismo volumen puede producir presiones diferentes, según sea la altura y la superficie del fondo del recipiente que lo contenga; e inversamente volúmenes diferentes, pueden producir una misma presión.

Ahora bien, se ha dicho que la presión se considera en kilos por cm^2 . De acuerdo con ello, fácil será calcular la altura que debe tener, o que debe estar colocada la masa de agua para ejercer una presión determinada.

Así por ejemplo: se requiere una presión de 2,5 kg/ cm^2 y se desea saber que altura tendrá la columna de agua que produce tal presión, plantearemos y resolveremos así nuestro problema:

Si 100 g/ cm^2 ______________________ 1 m
2500 g/ cm^2 ______________________ X

por lo tanto: 100 g/ cm: 2500 g/ cm^2 : : 1m : X
de donde:

$$X = \frac{2500g / cm^2 x1m}{100g / cm^2} = 25m$$

Respuesta: la columna de agua que ejerce una presión de 2,5 g/ cm^2 tendrá 25 metros de altura.

Por supuesto, no será necesario construir un estanque que tenga toda esa altura, ya que para lograr el efecto deseado bastara colocar el mismo a la altura deducida, con una cañería de bajada.

Ese mismo problema puede presentarse a la inversa: se tiene un estanque cuyo fondo (haciendo caso omiso del nivel del liquido en su interior) está a 25 m de altura, y se quiere saber que presión ejerce el agua desde tal altura.

En este caso, plantearemos y resolveremos así nuestro problema:

Si 1m ______________________ 100 g/ cm^2

25 m _______________________ X

por lo tanto: 1 m: 25 m : : 100 g/ cm^2 : X

de donde:

$$X = \frac{25mx100g / cm^2}{1m} = 2500g / cm^2$$

Respuesta: la presión que produce la columna de agua proveniente de un tanque de reserva, situado a 25 m de altura, es de 2,5 kg/ cm^2.

Del razonamiento realizado precedentemente, se puede deducir una simple pero importante formula para hallar una altura conociendo la presión, o a la inversa una presión, conociendo la altura. La presión se representa con la letra *P*, y estará dada en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/ cm^2). Como ya se ha indicado, que cada 10 metros de altura de agua equivale a un kilogramo, multiplicando una presión cualquiera –en condiciones expuestas- por 10, se obtendrá la altura de la columna de agua que la produce, o sea:

$$h = 10xP$$

y de la misma manera se obtiene el valor *P*, transponiendo términos:

$$P = \frac{h}{10}$$

<u>VOLUMEN Y CAPACIDAD</u>

Los conceptos *volumen* y *capacidad* son dependientes y relacionados entre si, cuando se trata de conductos en general, pero difieren absolutamente en su significado.

Volumen de un cuerpo: es el espacio ocupado por este.

La unidad de volumen es el metro cúbico (m^3). Su primer sub múltiplo, el decímetro cúbico (dm^3) es la magnitud de volumen mas comúnmente usada en los cálculos hidráulicos.

Capacidad de un recipiente: es el volumen que dicho recipiente puede contener.

La unidad de capacidad es el litro, que es la medida capaz de contener un decímetro cúbico (1litro = 1 dm^3).

Obsérvese que volumen poseen todos los cuerpos, y capacidad solo los recipientes.

Así, por ejemplo: una manga posee volumen y capacidad; el agua, solo volumen.

Presión Estática: Es la ejercida por la masa de un liquido en reposo, sometido a la acción de la gravedad.

Presión dinámica: Es la ejercida por una masa liquida en movimientos, sujeta a la acción de la gravedad.

Principio de Pascal: la presión que se ejerce sobre la superficie libre de un liquido en reposo, se trasmite íntegramente y en todo sentido a todos los puntos de la masa liquida.

En un recipiente de forma esférica, lleno de un liquido cualquiera, y que tuviera varios émbolos móviles afectando secciones iguales y colocados en diversos lugares- efectuemos una presión de 5 kilogramos en su superficie libre, que será igual a la sección de los émbolos: estos sufrirán un empuje hacia fuera, con una fuerza equivalente a los 5 kilogramos (Ver Figura 4).

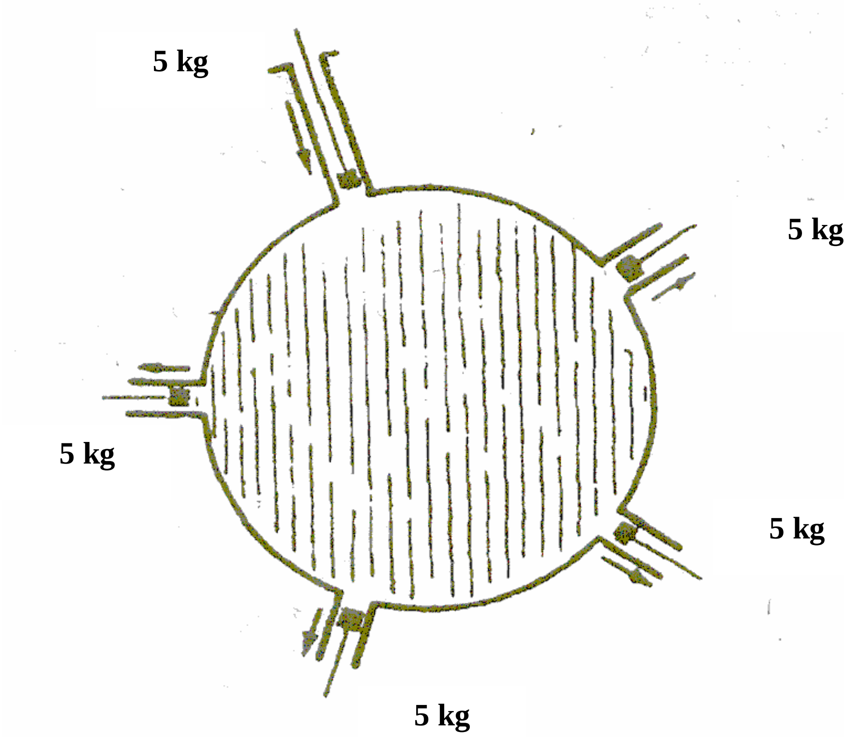


Fig. 4

1.2 PRESION HIDROSTATICA

La Hidrostática se ocupa del estudio de los líquidos en equilibrio o reposo.

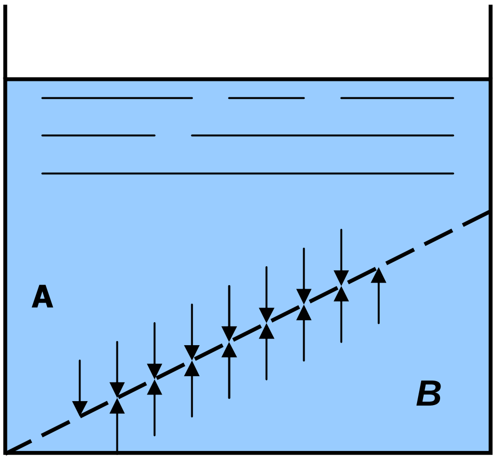


Fig 1.2

En el recipiente de la figura, con un líquido en reposo, imaginemos una superficie de separación arbitraria, que lo divide en dos partes: A y B.

La parte A ejerce una acción (fuerza) sobre B, que proviene de su propio peso. La parte B reacciona en forma igual y contraria. Se trata de una acción entre dos partes iguales de un mismo líquido.

Por unidad de superficie, esas acciones son las presiones hidrostáticas p.

1.2.1 CARACTERISTICAS DE LA PRESION HIDROSTATICA

A) La presión hidrostática es siempre normal a la superficie sobre la que se considera aplicada.
B) En un punto cualquiera de la masa líquida en equilibrio o reposo, la presión hidrostática tiene el mismo valor en todas direcciones

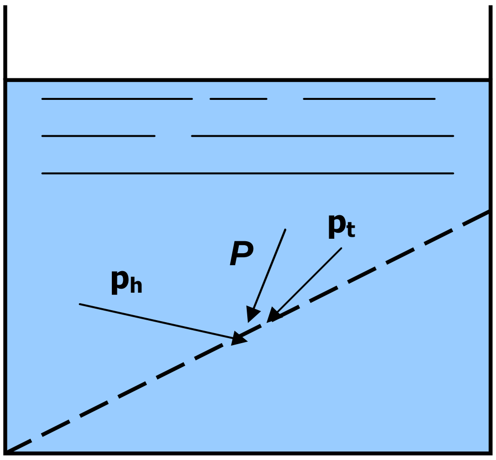
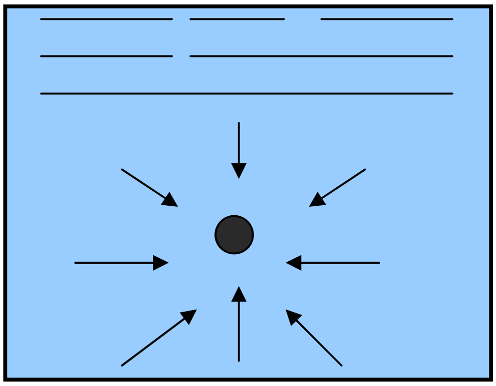


Fig. 1.2.1.1

Si, como indica la figura, la presión hidrostática fuera oblicua con respecto a la superficie considerada, admitiría una componente tangencial *pt* que se produciría el desplazamiento del líquido (que por er perfecto no ofrece resistencia) en contra del equilibrio supuesto.

Luego pt es nula y la presión hidrostática es siempre normal al elemento de superficie considerado.

Aplicando el razonamiento anterior con



Respecto a elementos de superficie de Distinta orientación ubicadas en un mismo punto concluimos que la presión

Debe ser siempre normal a la superficie. Considerada.
Esta propiedad puede demostrarse experimentalmente. Más adelante describiremos un ensayo que se realiza a tal fin.

1.3 TEOREMA GENERAL DE LA HIDROSTATICA (T.G.H.)

Se enuncai así: "la diferencia de presión entre dos puntos cualesquiera de una masa líquida en equilibrio o reposo es igual al producto del peso específico del líquido por la diferencia de nivel entre los mismos".

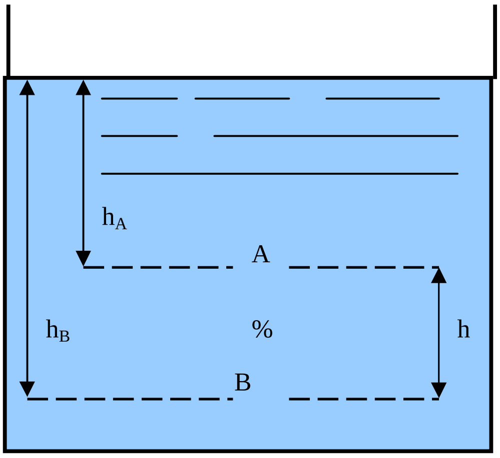


FIG. 1.3

En la figura:

$P_B - P_A = P_e.(h_B - h_A)$ ó $P_e.h$ (2)

1.3.1 Una demostración elemental del T.G.H.:

En una masa líquida en equilibrio o reposo aislamos un cilindro ideal (base S, altura h).

En un plano horizontal cualquiera, la presión en un punto de la superficie lateral del cilindro tendrá siempre, para el equilibrio, una igual y de sentido contrario. La suma total de las acciones será, pues nula.

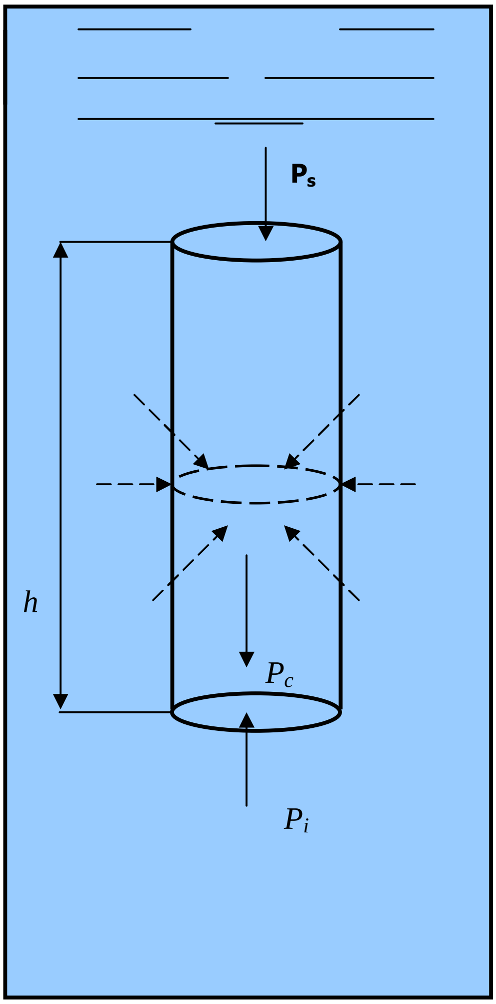


Fig. 1.3.1.

En sentido vertical aparecen las fuerzas:
P_s: Aplicada en la base superior.
P_i: Aplicada en la base interior.
P_c: peso del cilindro ideal.

Para el equilibrio debe ser:

$$P_i = P_s + P_c \quad (3)$$

Obtenemos el peso del cilindro ideal, multiplicando su volumen por el peso específico:

$$P_c = P_e \, . \, S \, . \, h$$

y reemplazando en (3):

$$P_i = P_s + P_e \, . \, S \, . \, h$$

Dividiendo ordenadamente por S

$$\frac{P_i}{S} = \frac{P_s}{S} + \frac{P_e \, . \, S \, . \, h}{S}$$

o sea las presiones:

$$P_i = P_s + P_e \, . \, h \; \therefore \; P_i - P_s = P_e \, . \, h \quad (4)$$

Expresión del T.G.H.

1.3.1.1 En la deducción anterior se ha supuesto que P_e = constante (es decir que el peso específico no varía con la profundidad).

Esto concuerda con la hipótesis de la incompresibilidad de los líquidos.

1.3.2 PRESION HIDROSTATICA ABSOLUTA Y RELATIVA

Sobre la superficie libre del líquido actúa, si el recipiente es abierto, la presión atmosférica.

Aplicando el T.G.H. entre un punto de esa superficie y otro cualquiera, en el seno de la masa líquida:

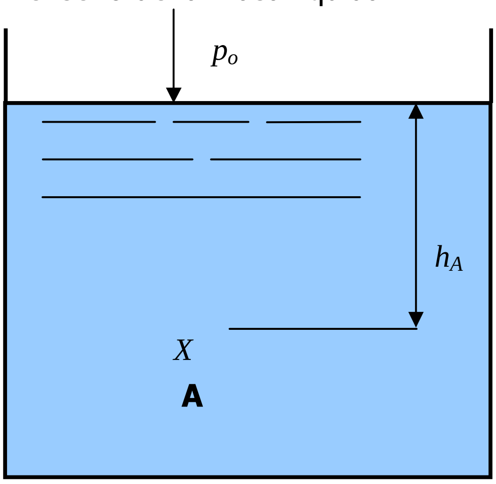


Fig. 1.3.2.

$\therefore\ P_A = P_o + P_e \ . \ h_A$ (5)

Este valor se denomina presión hidrostática absoluta en A.

Es el valor total de la presión en el punto (incluida la presión atmosférica).

En general, para un punto cualquiera:

$P = p_o + P_e \ . \ h$ (6)

En cambio, el valor:

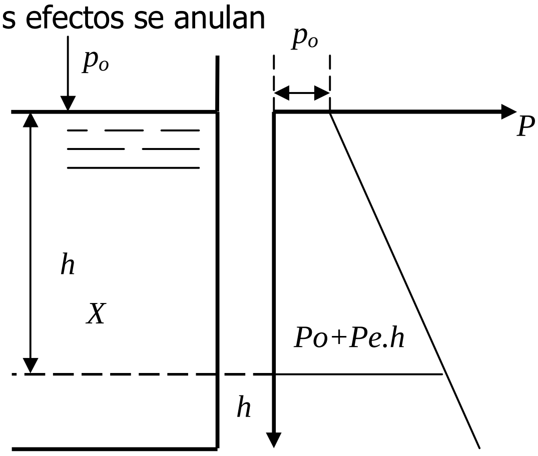
$$P - p_o = P_e \ . \ h_A \qquad (7)$$

Se conoce como *presión hidrostática relativa en el punto A*, es la sobrepresión, o exceso sobre la presión atmosférica, en el punto *A*.

En general, se expresa simplemente:

$$\boxed{P = P_e \ . \ h}$$

En la técnica se acostumbra a considerar, por lo general, la presión hidrostática relativa. Y ello porque en muchas aplicaciones (por ejemplo empuje de líquidos sobre paredes de depósitos) la presión atmosférica actúa tanto en el exterior como en el interior, con igual intensidad y sentido contrario, y por lo tanto, sus efectos se anulan



La presión $P = p_o + P_e \ . \ h_A$ revela que la presión absoluta crece con la profundidad del punto considerado, variando en forma lineal.

La representación gráfica de esta ecuación es, por lo tanto, una recta con el valor p_o en el origen, en correspondencia con la superficie libre (h = 0).

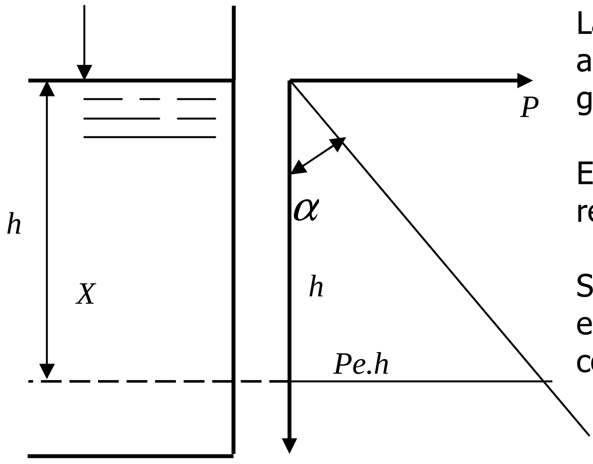


Fig. 1.3.2.3.

La expresión P = P_e . h tiene, como antes, una recta por representación gráfica.

En la superficie libre (h = 0), la presión relativa es nula.

Se observa en la figura, que la relación entre catetos del triángulo correspondiente nos da:

$$Tg\,P_e = \frac{P_e \, x \, h}{h} = P_e$$

Es decir: la inclinación de la recta con respecto a la vertical – representada por la tangente trigonométrica del ángulo α es igual al peso específico del líquido.

Tratándose de agua, con peso específico:

$$P_e = 1\frac{kg}{dm^3} = 1\frac{g}{cm^3}$$

Resulta, evidente, α = 45º

1.3.3 SUPERFICIE DE NIVEL

Son superficies que presentan una particularidad: a todos sus puntos corresponde igual presión.

La presión absoluta en un punto cualquiera es:

$$P = p_o + P_e \,.\, h \qquad (8)$$

Y para un mismo plano horizontal (h = Constante).

$$\boxed{P = cte}$$

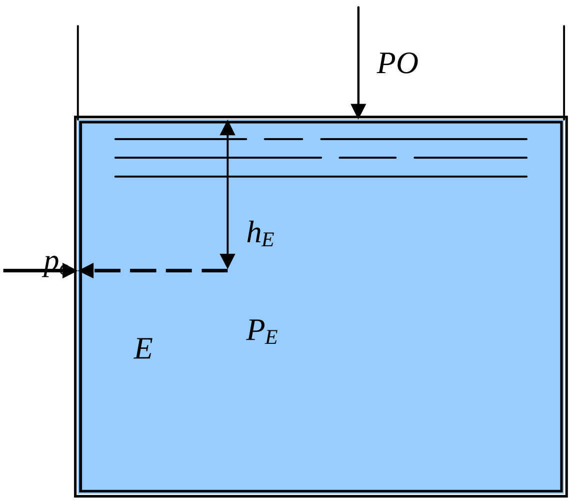
Es decir: en una masa líquida en equilibrio o reposo todos los planos horizontales son superficies de nivel (de igual presión).

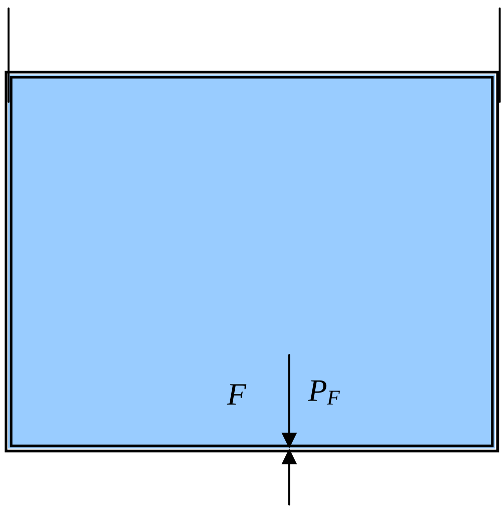
La superficie libre, en particular, es una superficie de nivel. Sobre todos sus puntos actúa la misma presión (la atmosférica si el recipiente es abierto).

Esto es válido en masas líquidas de poca extensión donde las fuerzas de gravedad, que son verticales, pueden considerarse paralelas.

En grandes extensiones, la superficie de nivel de líquido, en reposo es curva, siendo normal en cada punto a la vertical del lugar considerado.

1.3.4 PRESION SOBRE LAS PAREDES Y FONDO DE UN DEPÓSITO





a) En un punto E sobre la pared interior de un depósito, la presión absoluta tiene por valor:

$$P_E = p_o + P_e \,.\, h_E$$

Para hallar la presión total en el punto, debemos considerar que la presión atmosférica actúa con valor igual del lado exterior de la pared. Entonces, la presión total en E será:

$$P_E = p_E - p_o + P_e \,.\, h_E - p_o$$

$$\therefore \quad \boxed{P_E = P_e \,.\, h_E} \qquad (9)$$

o sea la presión relativa en E

b) En un punto F del fondo, la presión absoluta tiene por valor

$$P_F = p_o + P_e \,.\, h_F$$

Y por idénticas consideraciones:

$$P_F = p'_F - p_o + P_F \,.\, h_F$$

$$\therefore \quad \boxed{P_F = P_e \,.\, h_F} \qquad (10)$$

o sea, la presión relativa F.

RELACION ENTRE PRESION Y VELOCIDAD

La velocidad con que el agua fluye por un caño depende de la presión con que se ha impulsado a ésta. La presión, a la vez, depende de la altura de la columna de agua o del esfuerzo de la bomba impulsora. Ya se ha hablado de cómo estimar la presión que proviene de un estanque elevado a una altura determinada. En este caso la presión se conoce con el nombre de *presión estática*, es decir, presión producida por la altura del agua encerrada en el caño.

Por ejemplo, imaginemos un sistema de cañerías para abastecimientos de una cantidad de hidrantes, que registrara una presión de 2,5 kg/cm^2, como hemos visto anteriormente, si en vez de un manómetro se armara al hidrante una línea de manga y se diera paso al agua. Ésta saldría con cierta velocidad. Esta velocidad depende de la presión. Consideremos ahora como hallar la velocidad teórica del agua, que sale bajo una presión dada.

La velocidad de cada partícula de agua depende de la altura de que ha caído. Las leyes que gobiernan la velocidad de una partícula de agua cayendo, son las mismas que gobiernan todo el cuerpo que cae, y se deben considerar estas leyes para comprender y calcular el fluir del agua.

Supongamos que un hombre deja caer una piedra desde lo alto: al transcurrir el primer segundo, la piedra estaría cayendo a cierta velocidad; al terminar el siguiente segundo, tendría dos veces la velocidad que tuvo al terminar el primer segundo. Al terminar el tercero, tendría triple velocidad, y así sucesivamente.

Velocidad de la piedra:

Al 1º segundo 9,81 m/seg^2 x 1 seg = 9,81 m/seg

Al 2º segundo 9,81 m/seg^2 x 2 seg = 19,62 m/seg

Al 3º segundo 9,81 m/seg^2 x 3 seg = 29,43 m/seg

Se verá que la velocidad de cualquier período, es igual al tiempo considerado en segundos, multiplicado por el incremento constante 9,81 m/seg^2 .

Este incremento constante se llama aceleración de la gravedad, y se ha convenido en denominarlo *g*; siendo *t* el número de segundos y *v* la velocidad, se

$$v = g \times t$$

obtiene la fórmula siguiente:

Donde *v* es igual a la velocidad en metros por segundos, y el *t* el tiempo en segundos.

Ahora veamos como se calcula la altura o espacio que un cuerpo ha recorrido, cayendo libremente en tiempo dado. Recuérdese, que el cuerpo que cae aumenta su velocidad en una proporción uniforme. Esto puede sintetizarse así: un cuerpo que cae libremente acelera su velocidad uniforme a razón de 9,81 m/seg^2.

Supongamos que una formación ferroviaria comienza su recorrido acelerando su velocidad uniformemente, y al transcurrir una hora está viajando a 60 kilómetros por hora. Si queremos averiguar el espacio recorrido, debemos tener en cuenta que se inició con velocidad igual a cero, y al cabo de una hora ésta era de 60 kilómetros, por lo tanto el espacio que recorrió es de 30 kilómetros. En el casi de una piedra que cae, y al cabo de un segundo lleva una velocidad de 9,81 m/seg^2, el espacio recorrido será de 4,9 metros.

Lo que nosotros hacemos es hallar la velocidad media –o de promedio- en metros por segundo, kilómetros por hora y así sucesivamente, y multiplicar las velocidad promedio por el tiempo dado. Para hallar la velocidad media o de promedio sólo tenemos que dividir por dos la suma entre la velocidad final y la inicial.

COMO HALLAR LA VELOCIDAD

Se puedo comprobar que un cuerpo que cae libremente a través del espacio, tiene una aceleración uniforme de *g = 9,81 m/seg*^{2} . Que la velocidad final ***v*** es igual a ***g x t***, y que el espacio atravesado por un cuerpo es igual a ***1/2g x t***^{2}. Ahora supongamos que un cuerpo ha estado cayendo por 2, 4 y 8 segundos. Hagamos una tabla de valores y el espacio recorrido en cada caso.

Tiempo (t) en segundos	**Velocidad (v) (g x t)**	**Espacio (e) 1/2g x t^2**
2	19,62 m/seg	19,62 m
4	39,24 m/seg	78,48 m
8	78,48 m/seg	31,92 m

Adviértase este hecho importante: al terminar los dos segundos, el cuerpo ha caído 19,62 m, y tiene una velocidad de 19,62 m/seg. Al terminar los 4 segundos, ha caído cuatro veces la distancia que había caído al terminar los dos segundos, pero su velocidad es solamente dos veces mayor. Al transcurrir ocho segundos, el espacio recorrido es 16 veces mayor de lo que era al transcurrir los dos segundos, pero su velocidad es solamente cuatro veces mayor.

En otras palabras, la velocidad de un cuerpo que cae libremente es proporcional a la raíz cuadrada del espacio que el cuerpo ha atravesado. Así hemos alcanzado un resultado muy importante.

Las leyes que gobiernan a los cuerpos que caen libremente, se aplica a las partículas de agua, así como a cualquier otra partícula de materia que sea más pesada que el aire.

Por ejemplo, cuando se procede a abrir un hidrante, queda en libertad un número infinito de moléculas de agua, y cada una de estas moléculas, tienen cierta velocidad debido a la presión o a la altura de que han caído.

Trataremos de hallar una fórmula que nos permita calcular la velocidad proveniente de la presión (o altura). Primero tenemos que V = g x t. Si dividimos c por g obtenemos t, así:

$$\frac{v}{g} = t \qquad (1)$$

Después tenemos esta segunda fórmula:

$$e = \frac{1}{2} g \times t^2$$

Lo cual es desde luego igual a:

$$e = \frac{1}{2} g \times tt$$

Ahora vamos a sustituir *t* por la expresión *V/g* porque sabemos que

$$\frac{v}{g} = t$$

Entonces sabemos:

$$e = \frac{1}{2} g \times \frac{V}{g} \times \frac{V}{g}$$

Simplificando tenemos:

$$e = \frac{V \times V}{2g} = \frac{V^2}{2g} \qquad (2)$$

La representa, como ya se ha dicho, el espacio recorrido. En hidráulica esto es generalmente conocido como altura en metros. En vez de e usaremos la *h* que representa la presión o la altura desde la cual las partículas de agua caen. Tenemos entonces:

$$h = \frac{V^2}{2g}$$

De esta igualdad pasemos el término *2g* al primer miembro, y tendremos:

$$2gh = V^2$$

De nuevo tenemos una igualdad. Si extraemos la raíz cuadrada de cada miembro, la igualdad, es decir, la proporción entre los miembros, será la misma, y tendremos:

$$\sqrt{2gh} = V$$

De esta manera, llegaremos a una ley muy importante:

La velocidad de un cuerpo que cae libremente, es igual a la raíz cuadrada de la altura de la que el cuerpo ha caído, multiplicada por dos veces la gravedad (gravedad igual a 9,81 m/seg^2).