

24 37



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

MANUAL DE PRUEBAS HIDROSTATICAS Y
DE LA VISCOSIDAD DE UN FLUIDO

T E S I S

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecánico Electricista
p r e s e n t a

LUIS MANUEL CHAVEZ MIRANDA



Director de tesis: M.I. Efraín del Risco Moreno

México, D. F.

1988



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

	Pág.
CAPITULO I	
INTRODUCCION	1
CAPITULO II	
1.- <i>Propiedades de los fluidos</i>	3
1.1 Densidad	3
1.2 Gravedad Específica o Densidad relativa	3
1.3 El Hidrómetro	4
1.4 Viscosidad	7
Definición de Viscosidad dinámica	7
Causas de la Viscosidad dinámica	7
Formas de Medir la Viscosidad	8
Unidades de la Viscosidad dinámica	10
Definición de Viscosidad Cinemática	11
Dimensiones y Unidades de la Viscosidad cinemática	11
Aparatos para medir la viscosidad	12
1.5 Capilaridad	16
Concepto de Capilaridad	16

	Pág.
Causas del fenómeno de Capilaridad	18
Análisis Matemático del Fenómeno	19
2.- <i>Presión Estática</i>	21
2.1 Introducción	21
2.2 Variación de la presión en un fluido en reposo	24
2.3 Presión sobre una Superficie plana Sumergida dentro de un líquido	29
3.- <i>Medición de la Presión</i>	33
3.1 El barómetro	33
A) El barómetro de mercurio común	34
B) El barómetro de mercurio tipo sifón	36
3.2 El medidor de presión tipo Bourdon	38
3.3 Manómetros de líquidos	40
4.- <i>Estabilidad de Cuerpos flotantes</i>	46
4.1 Flotación	46
4.2 Equilibrio de cuerpos en flotación Análisis de estabilidad rotacional	54
4.3 Determinación Analítica de la altura Metacéntrica	59
4.4 Determinación experimental de la altura Metacéntrica	65

CAPITULO III

Desarrollo de prácticas para laboratorio		69
3.1 Experimentos		69
Experimento	1. Medición de densidades y gravedades específicas.	69
Experimento	2. Medición de la Viscosidad	72
Experimento	3. Observación del efecto capilar	78
Experimento	4. Medición de la elevación capilar	80
Experimento	5. Superficie libre de un lí- quido estático	83
Experimento	6. Efecto de flujo en la superficie libre	86
Experimento	7. Medición de niveles de líquidos	90
Experimento	8. Magnitud de la presión de líquidos	93
Experimento	9. Centro de presión en una superficie plana	96
Experimento	10. Obtención de una lectura di- recta de la presión atmosfé- rica empleando el barómetro de Mercurio	104
Experimento	11. Calibración del medidor de presión tipo Bourdon	106

	Pág.
Experimento 12. Uso del manómetro de Mercurio de tubo en "U" para medir la presión del agua.	110
Experimento 13. Uso del manómetro de Mercurio de tubo en "U" para medir la presión en aire.	113
Experimento 14. Uso del manómetro de Mercurio de tubo en "U" para determinar la presión diferencial.	115
Experimento 15. Principio de Arquímedes	118
Experimento 16. Determinación de la altura Metacéntrica	122
3.2.- Diseño del Equipo	128
Descripción de la Mesa para pruebas hidrostáticas	128
CAPITULO IV	
CONCLUSIONES	133
Apéndice	135
Bibliografía	136

NOMENCLATURA

ρ	Densidad de un fluido
Δm	Masa de fluido contenido en un volumen pequeño
Δv	Volumen pequeño que rodea a un punto
ϵ	Valor muy pequeño
ρ_w	Densidad del agua
ρ_l	Densidad del líquido
S	Gravedad específica o densidad relativa
g	Aceleración de la gravedad
A	Area
du	Diferencial de velocidad
dy	Diferencial de longitud
τ	Esfuerzo cortante
μ	Viscosidad dinámica
F	Fuerza
L	Longitud
T	Tiempo
ν	Viscosidad cinemática
N	Revoluciones por minuto
r	Radio
h	Altura
P	Presión
Q	Gasto volumétrico
σ	Tensión superficial

θ	Angulo
Σ	Sumatoria
δ	Elemento
γ	Peso específico
a	Aceleración
W	Peso de un cuerpo
∂	Diferencial parcial
∇	Operador gradiente
\int	Integral
C	Centro de presiones
I	Segundo momento de Area
P_v	Presión de vapor de Mercurio
P_a	Presión atmosférica
S_m	Gravedad específica del Mercurio
$=$	Semejante
\int_v	Integral volumétrica
F_B	Fuerza de flotación
B	Centro de flotación
M	Metacentro
GM	Altura metacéntrica
T	Momento
G	Centro de gravedad
H_g	Mercurio

< Menor que
> Mayor que
V Válvula de control de flujo
 π Constante

CAPITULO I

Introducción

El estudio de la mecánica de fluidos no puede ser completo sin la participación de la práctica, en donde el estudiante entra en contacto físico con todos los elementos necesarios para la comprensión de dicho estudio. Es por eso que actualmente se le ha dado tanta importancia a los laboratorios de esta materia.

Actualmente el laboratorio de Mecánica de Fluidos con que cuenta la Facultad de Ingeniería de la UNAM, tiene aparatos que pueden ser usados y comprendidos por estudiantes de semestres avanzados; pero carece de aparatos que ilustren los fenómenos y propiedades en que se basa la estática de fluidos, siendo esto necesario para los estudiantes de primeros semestres.

En este trabajo se presenta un manual de prácticas de laboratorio para la realización de ciertas pruebas que ilustren algunas propiedades y ciertos fenómenos que se presentan en la mecánica de fluidos.

Se persigue en esta forma facilitar la comprensión de los conceptos y definiciones a través de un orden lógico en la realización de las pruebas.

En el capítulo II se presentan los conceptos y definiciones de la mecánica de fluidos que motivaron la realización de este manual.

El diseño de las prácticas se desarrolla en el capítulo III, en él se plantean los objetivos perseguidos, la secuencia a seguir en el laboratorio, la descripción de la instalación experimental y la presentación en forma gráfica o tabular de los resultados obtenidos. También en este capítulo se presentan una serie de planos de posibles dispositivos que permitirían realizar las pruebas mencionadas, con el fin de que los estudiantes que tengan la inquietud de construir dichos aparatos cuenten con la mayor información al respecto.

Por último, en el capítulo IV se ponen a consideración las conclusiones de este estudio, las cuales persiguen la presentación de una herramienta didáctica para una mejor comprensión de los conceptos y definiciones de interés.

CAPITULO II

I. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

1.1 Densidad

La densidad ρ de un fluido se define como su masa por unidad de volumen. Para precisar la densidad en un punto, se divide la masa " Δm " del fluido contenido en un volumen pequeño " Δv " que rodee al punto, y se toma el límite conforme " Δv " se aproxima al valor " ξ^3 ", donde " ξ " es aún suficientemente grande, comparada con la distancia media entre moléculas.

$$\rho = \lim_{\Delta v \rightarrow \xi^3} \frac{\Delta m}{\Delta v} \quad (2.1)$$

1.2 Gravedad específica o densidad relativa.

La gravedad específica o densidad relativa " S " de una sustana

cia es la relación entre el peso de la sustancia y el peso de un volumen igual de agua en condiciones standard. También se puede expresar como la relación de la densidad o del peso específico de la sustancia a la correspondiente densidad o peso específico del agua.

1.3 El Hidrómetro

La densidad y la gravedad específica o densidad relativa pueden ser medidas utilizando el hidrómetro.

El hidrómetro común opera con base en el principio de Arquímedes; este principio señala que cuando un cuerpo flota en un líquido, el peso del volumen del líquido que desaloja es igual al peso del cuerpo.

El hidrómetro consiste en un tubo de vidrio cerrado en un extremo, en cuyo fondo se tiene una plomada que puede ser una cantidad de arena o mercurio. Además, el aparato cuenta con una escala para medir profundidades. En la siguiente figura se muestra un hidrómetro sencillo.

Para medir la densidad de un líquido con un hidrómetro se deberá seguir los siguientes pasos:

- 1.- Deberá sumergirse el tubo del hidrómetro en agua.

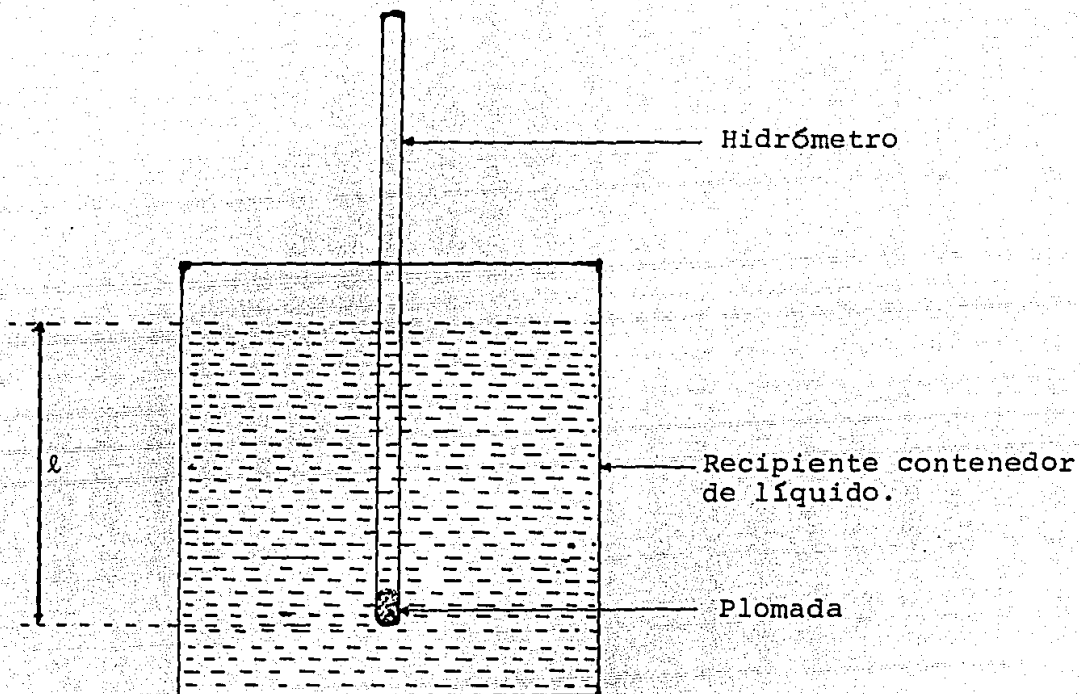


Fig. 2.1 Hidrómetro Común

2. Marque sobre la escala la magnitud de la profundidad su mergida del tubo del hidrómetro.
3. Sumerga el tubo del hidrómetro en otro líquido

4. Marque sobre la escala, nuevamente, la magnitud de la profundidad sumergida del tubo del hidrómetro en el segundo líquido.

Si " L_w " es la cantidad sumergida en agua de densidad " ρ_w " y " L_ℓ " es la cantidad sumergida en un líquido de densidad " ρ_ℓ "

Por el concepto de gravedad específica:

$$\rho_\ell = S \rho_w \quad (2.2)$$

El peso del volumen de agua desalojado será:

$$M_w g = \rho_w A L_w g \quad (2.3)$$

El peso de la masa de líquido desalojado será:

$$\rho_\ell g A L_\ell = S \rho_w g A L_\ell \quad (2.4)$$

Por el principio de Arquímedes, igualando (2.3) y (2.4)

$$\rho_w g A L_w = S \rho_w g A L_\ell \quad (2.5)$$

Por lo tanto:

$$S = \frac{L_w}{L_\ell} = \frac{\text{Cantidad de tubo del hidrómetro sumergido en agua}}{\text{Cantidad de tubo del hidrómetro sumergido en el líquido}} \quad (2.6)$$

Se puede construir una escala de gravedades específicas o densidades relativas, marcando con el valor de 1 en la escala la cantidad del tubo sumergida en agua y marcando el valor de " L_w/L_g " en la escala la cantidad del tubo sumergida en cualquier otro líquido.

1.4 Viscosidad

Definición de viscosidad dinámica:

La viscosidad es la propiedad de un fluido mediante la cual se ofrece resistencia al corte.

Causas de la viscosidad dinámica:

Al aumentar la temperatura, se incrementa la viscosidad en un gas, mientras que la viscosidad de un líquido disminuye. Esta diferencia de comportamientos respecto a la temperatura se puede explicar si se examinan las causas de la viscosidad. La resistencia que un fluido ofrece al corte depende de las fuerzas de cohesión y de la rapidez de la transferencia de cantidad de movimiento entre moléculas. En un líquido, las fuerzas de cohesión son más grandes que en un gas, debido a que en un líquido las moléculas se encuentran más próximas entre sí. La cohesión parece ser la causa predominante de la viscosidad en un líquido, y como la cohesión disminuye al incremen

tarse la temperatura, lo mismo le sucede a la viscosidad. Por otro lado, un gas tiene fuerzas de cohesión muy pequeñas y la mayor parte de su resistencia al esfuerzo cortante resulta de la transferencia de cantidad de movimiento molecular.

Formas de medir la viscosidad:

Para obtener una medición de la viscosidad es necesario considerar flujo viscoso y dos suposiciones básicas que son las siguientes:

1. No existe deslizamiento o movimiento relativo de la capa de fluido adyacente a cualquier frontera sólida. Es decir las partículas de fluido adyacentes a una frontera sólida, poseen la misma velocidad que ésta.
2. El esfuerzo cortante es proporcional a la rapidez de deformación.

Considere el siguiente elemento de fluido:

De la figura 2.2, el gradiente transversal de velocidad es igual a $\frac{du}{dy}$

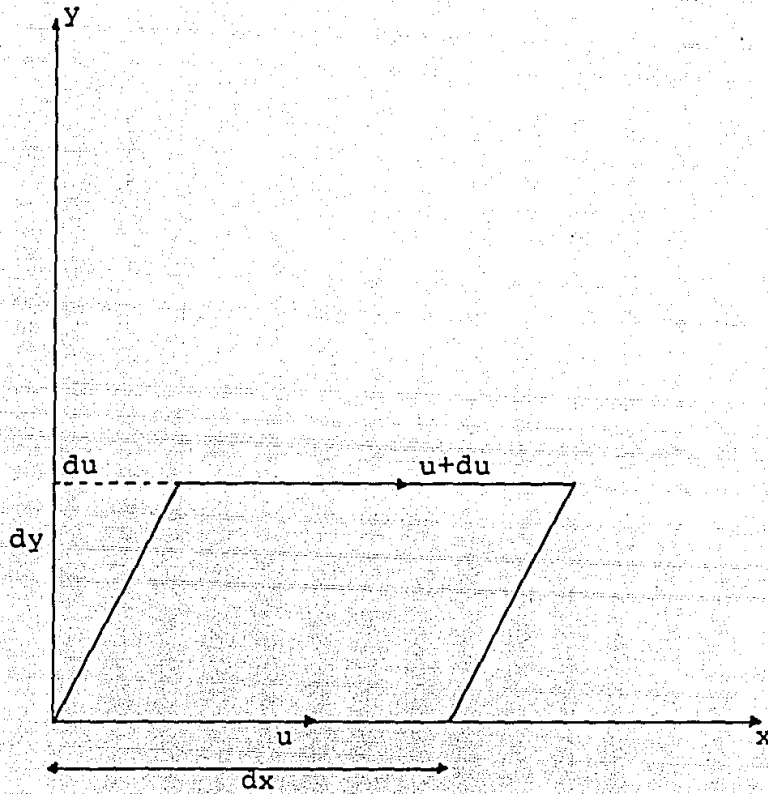


Fig. 2.2 Comportamiento de un flujo viscoso

Por lo tanto:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.7)$$

donde:

τ = esfuerzo cortante

μ = viscosidad dinámica

$\frac{du}{dy}$ = gradiente de velocidades

A la relación (2.7), se le conoce como Ley de la viscosidad de Newton.

Unidades de la viscosidad dinámica:

Las dimensiones de la viscosidad dinámica se pueden determinar a partir de la Ley de la viscosidad de Newton. Al despejar a " μ " de la ecuación (2.7) se tiene lo siguiente:

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \quad (2.8)$$

Y al sustituir las dimensiones "F", "L" y "T", para fuerza, longitud y tiempo respectivamente:

$$\tau = FL^{-2} \quad U = LT^{-1} \quad y = L$$

Se demuestra que " μ " tiene las dimensiones $FL^{-2}T$. Si la dimensión fuerza se expresa en términos de la masa a través de la segunda ley de Newton, es decir: $F = MLT^{-2}$.

Las dimensiones de " μ " resultan ser:

$$ML^{-1}T^{-1}$$

La unidad inglesa (que no recibe un nombre especial) es 1 lb por seg/pie^2 "o. 1 slug/pie por seg. (son idénticas). La undad en el sistema cgs, llamada poise (p), es igual a 1 dina seg/cm^2 o 1 g/cm seg. El centipoise (cP) es un centésimo de poise. En el sistema internacional, la unidad de viscosidad en Kg/m seg o Newton seg/m^2 no recibe un nombre, esta unidad es diez veces más grande que un Poise.

Definición de viscosidad cinemática:

La viscosidad cinemática ν , es el cociente de la viscosidad dinámica entre la densidad del fluido, es decir:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.9)$$

Dimensiones y unidades de la viscosidad cinemática:

Las dimensiones de " ν " son L^2T^{-1} . En el sistema inglés, la unidad de 1 pie^2/seg no tiene nombre en particular, mientras que en el sistema cgs, la unidad de 1 cm^2/seg , recibe el nombre de Stoke (St). En el sistema internacional la unidad de viscosidad cinemática es igual a 1 m^2/seg .

Debido al comportamiento de la viscosidad dinámica, los fluidos se suelen clasificar en dos tipos:

- A) Fluidos Newtonianos. En ellos existe una relación lineal entre la magnitud del esfuerzo aplicado al fluido y su rapidez de deformación resultante; es decir la viscosidad dinámica " μ " es constante en la ecuación de la ley de la viscosidad de Newton.
- B) Fluidos no Newtonianos. Existe una relación no lineal entre la magnitud del esfuerzo aplicado al fluido y su rapidez de deformación resultante; es decir " μ " no es una constante en la ecuación de la viscosidad de Newton.

Aparatos para medir la viscosidad:

- A) Viscosímetro de cilindros concéntricos.

La viscosidad dinámica es posible cuantificarla a partir de la Ley de la viscosidad de Newton en función del esfuerzo cortante y el gradiente de velocidades.

El gradiente de velocidades " du/dy " se puede cuantificar mediante un cilindro que gira con una velocidad angular conocida, alrededor de un cilindro concéntrico fijo. Si se mide el par sobre el cilindro estacionario se puede calcular el esfuerzo cortante. Un diagrama de este aparato se muestra en la siguiente figura.

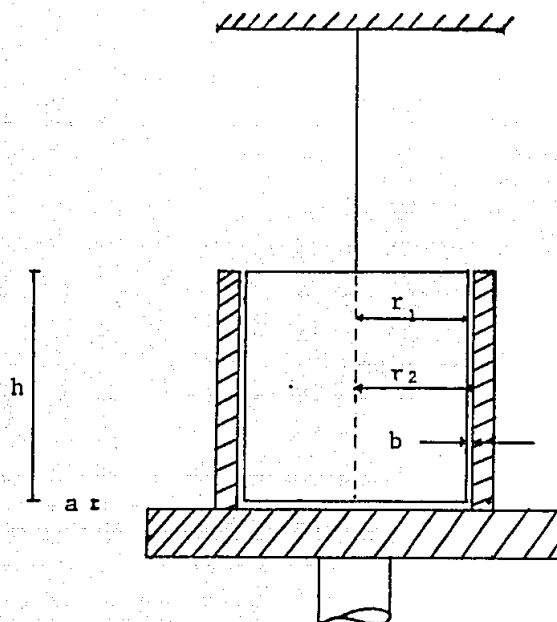


Fig. 2.3 Viscosímetro de cilindros concéntricos

Despreciando el par debido al fluido debajo del cilindro.

Cuando la velocidad de rotación es "N" rpm y el radio es "r" pies, la velocidad del fluido en la superficie exterior es:

$$2\pi r_2 N / 60$$

$$(2.10)$$

Con un espacio "b" entre cilindros, tal que $b \ll r_2$, se tiene

$$\frac{du}{dy} = 2\pi r_2 N / 60b \quad (2.11)$$

donde:

$$\frac{du}{dy} \text{ es el gradiente de velocidades}$$

El par "T" sobre el cilindro interior se mide utilizando el alambre de torsión desde el cual está suspendido el cilindro. Si se coloca un disco sobre el alambre la rotación de éste se puede determinar con una aguja fija. El esfuerzo cortante que resulta es:

$$\tau = T / (2\pi r_1 h) \quad (2.12)$$

Al sustituir en la ecuación de la ley de viscosidad de Newton y al despejar la viscosidad, se obtiene:

$$\mu = 15 T b / (\pi^2 r_1 r_2 h N) \quad (2.13)$$

Nota: Este viscosímetro deberá contar con un baño de temperatura regulada y un mecanismo adecuado para regular la velocidad.

B) Viscosímetro de Saybolt

Este aparato cuenta con un corto tubo capilar y se mide el tiempo que tarda en desalojarse 60 cm^3 del fluido bajo prueba a través del tubo por la acción de la gravedad; este tiempo constituye la lectura de Saybolt. La cantidad determinada mediante este aparato es la viscosidad cinemática, resultado evidente de la ecuación de Hagen-Poiseuille: si $p = \rho gh$, $Q = v/t$ y separando los términos que son iguales independientemente del fluido.

donde:

p = presión

v = volumen de líquido desalojado a través del tubo capilar

t = tiempo que transcurre en desalojarse el volumen de líquido

(2.14)

$$Q = \Delta p \pi D^4 / (128 \mu L) \quad (\text{ecuación de Hagen-Poiseuille})$$

$$\mu / \rho t = gh \pi D^4 / (128 v L) = C_1 \quad (2.15)$$

Si bien la carga "h" varía durante la prueba, el rango de variación es el mismo para todos los líquidos; los términos del lado derecho de la expresión anterior se pueden considerar constantes para un mismo instrumento. En estas condiciones se obtiene:

$$v = C_1 t \quad (2.16)$$

lo cual indica que la viscosidad cinemática es proporcional en forma directa al tiempo "t". Dado que el tubo capilar es muy corto, la distribución de velocidades típica de un flujo laminar no se alcanza a establecer: El fluido entra al tubo uniformemente y, debido al arrastre viscoso en las paredes, tiende a frenarse cerca de ellas y a acelerarse en el centro. Por esta razón, es necesario introducir un término de corrección de la forma C/t en la última ecuación, o sea

$$v = C_1 t + C_2/t \quad (2.17)$$

La relación aproximada entre la viscosidad y los segundos Saybolt es :

$$v = 0.0022 t - (1.80/t) \quad (2.18)$$

donde "v" está en Stokes y "t" en segundos.

1.5 Capilaridad

Concepto de capilaridad

Cuando un tubo de pequeño diámetro se sumerge en un líquido contenido en un recipiente, el líquido tenderá a ascender o descender por el interior del tubo, arriba o abajo del nivel

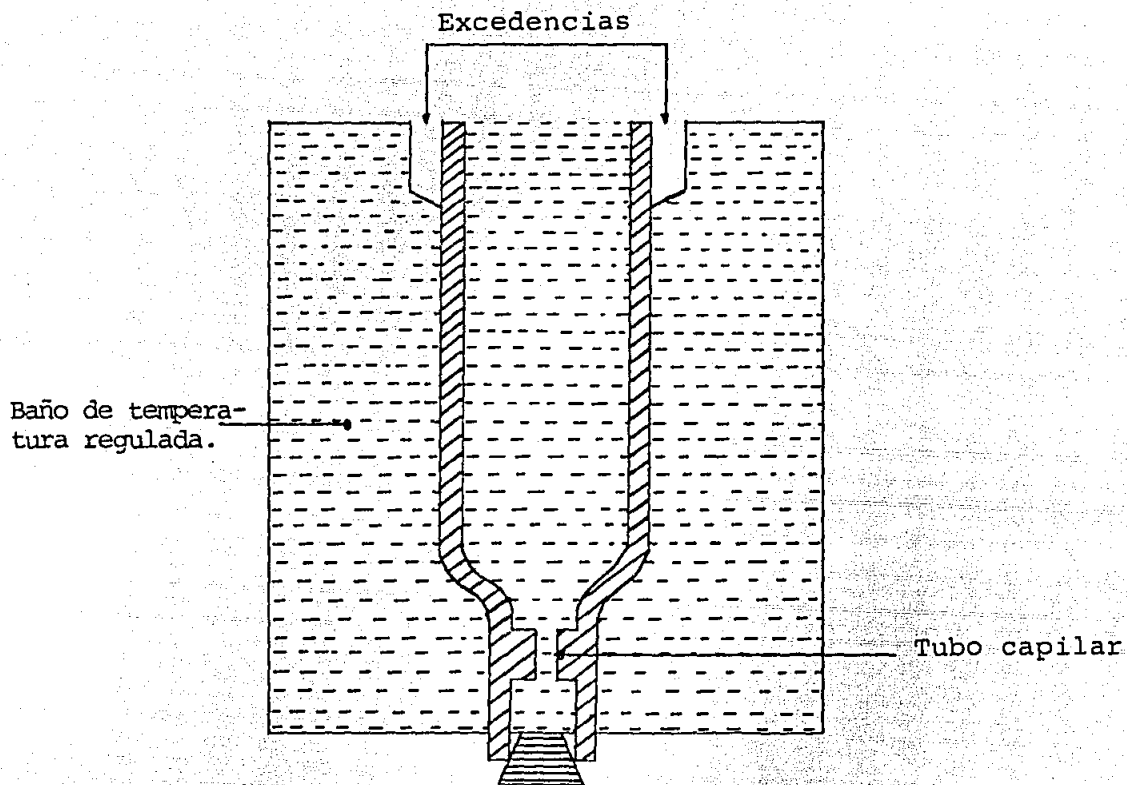
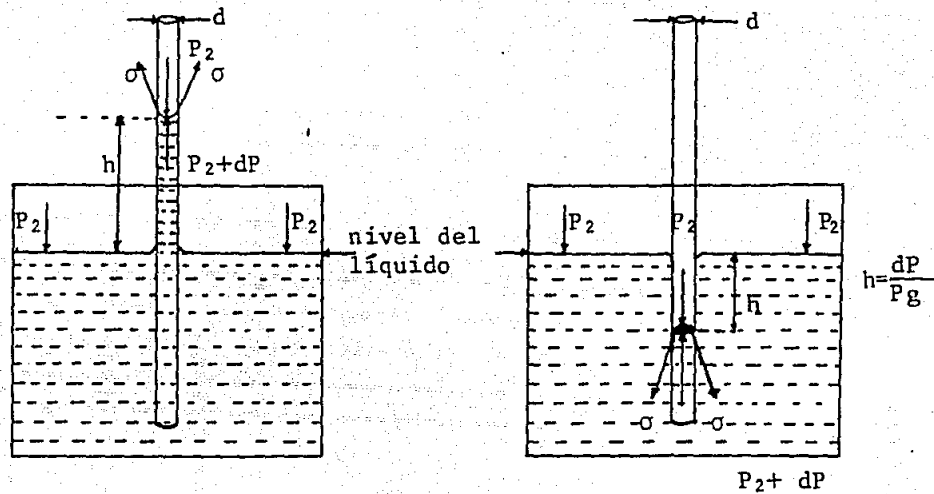


Fig. 2.4 Viscosímetro de Saybolt.

del líquido en el recipiente, dependiendo del ángulo de contacto entre la superficie del tubo y el líquido; a este fenómeno se le conoce como capilaridad.

Las siguientes figuras ilustran este fenómeno



a) Líquido que moja parcialmente la pared del tubo.

b) Líquido que no moja la pared del tubo.

Fig. 2.5 Fenómeno de capilaridad

Causas del fenómeno de capilaridad

La atracción capilar se origina por la acción combinada de

la tensión superficial y el valor relativo de las fuerzas de adhesión entre el líquido y el sólido y fuerzas de cohesión en el líquido.

La tensión superficial " σ ", es numéricamente igual a la fuerza de estiramiento necesaria para formar una película en la intercara de un líquido y un gas, o de dos líquidos inmiscibles, debido al parecer a la atracción de las moléculas debajo de la superficie del líquido.

Para un líquido que moja la pared de un sólido (como el agua) la adhesión es mayor que la cohesión. En este caso la tensión superficial ocasiona que el líquido suba a través de cualquier tubo vertical de diámetro pequeño que se encuentre parcialmente sumergido en el líquido.

Para un líquido que no moja la pared de un sólido, la tensión superficial tiende a abatir el menisco en un pequeño tubo vertical.

Análisis matemático del fenómeno

El peso de la columna del líquido elevado en el interior del tubo capilar debe ser soportado por la tensión superficial " σ ", que actúa alrededor del perímetro del tubo.

Realizando una suma de fuerzas verticales:

$$\rho g h \pi d^2 / 4 = \sigma \pi d \cos \theta \quad (2.19)$$

donde:

- σ es la tensión superficial
- θ es el ángulo de contacto entre el líquido y la superficie del sólido

De la ecuación (2.19), despejando "h" y simplificando algebraicamente se tiene:

$$h = 4\sigma \cos \theta / \rho g d \quad (2.20)$$

Cuando el líquido moja perfectamente la pared del tubo " θ " es cero, por lo tanto, de la ecuación (2.20) se tiene:

$$h = 4\sigma / \rho g d \quad (2.21)$$

Nota: Esta acción capilar puede causar serios errores si el diámetro del tubo es demasiado pequeño, tal como en tubos piezométricos que se usan para medir las presiones por medio de altura de columnas de líquido dentro del tubo.

2. PRESION ESTATICA

2.1 Introducción

Cuando un fluido se encuentra en reposo carece de esfuerzos cortantes, en consecuencia los únicos esfuerzos que actúan sobre él son los debidos a la presión hidrostática, la cual como se sabe actúa siempre normalmente al área considerada.

La presión media en un fluido se calcula dividiendo la fuerza normal que actúa sobre una superficie plana entre el área de la superficie. La presión en un punto localizado en el seno de un fluido, tiene el mismo valor en todas direcciones para un fluido en reposo. Es decir, si un elemento de área muy pequeña "A", el cual puede girar libremente respecto a su centro se sumerge en un fluido en reposo, experimentará una fuerza de magnitud constante en cualquiera de sus dos caras, sin importar que orientación tome.

Para demostrar lo anterior, considérese un elemento pequeño en forma de cuña de espesor unitario, en el punto (x,y) de un fluido en reposo (figura 2.6). Como no se pueden tener fuerzas cortantes, las únicas fuerzas que actúan sobre el elemento son las normales a la superficie y el peso del fluido. Por lo tanto las ecuaciones de equilibrio en las direcciones "x" y "y" son, respectivamente

$$\Sigma F_x = p_x \delta y - p_s \delta s \sin \theta - (\delta x \delta y / 2) \rho a_x = 0 \quad (2.22)$$

$$\Sigma F_y = p_y \delta x - p_s \delta s \cos \theta - \gamma (\delta x \delta y / 2) = (\delta x \delta y / 2) \rho a_y = 0 \quad (2.23)$$

donde "p_x", "p_y", "p_s" son las presiones medias en las tres caras, respectivamente, "γ" es el peso específico y "ρ" su densidad. Si se toma el límite conforme el elemento reduce su tamaño a cero, permitiendo que la cara inclinada se aproxime al punto (x, y), pero siempre manteniendo el ángulo, y se utilizan las siguientes relaciones:

$$\delta s \sin \theta = \delta y \quad (2.24)$$

$$\delta s \cos \theta = \delta x \quad (2.25)$$

Entonces las ecuaciones (2.22) y (2.23) se simplificarán a:

$$p_x \delta y - p_s \delta y = 0 \quad (2.26)$$

$$p_y \delta x - p_s \delta x - \gamma \delta x \delta y / 2 = 0 \quad (2.27)$$

El último término de la segunda ecuación es muy pequeño y puede despreciarse.

Dividiendo (2.26) y (2.27) entre "δy" y "δx", respectivamente y combinandolas, obtenemos las siguientes igualdades:

$$p_s = p_x = p_y$$

Como " θ " es un ángulo arbitrario, el último resultado demuestra que la presión en un punto de un fluido en reposo es la misma en todas direcciones.

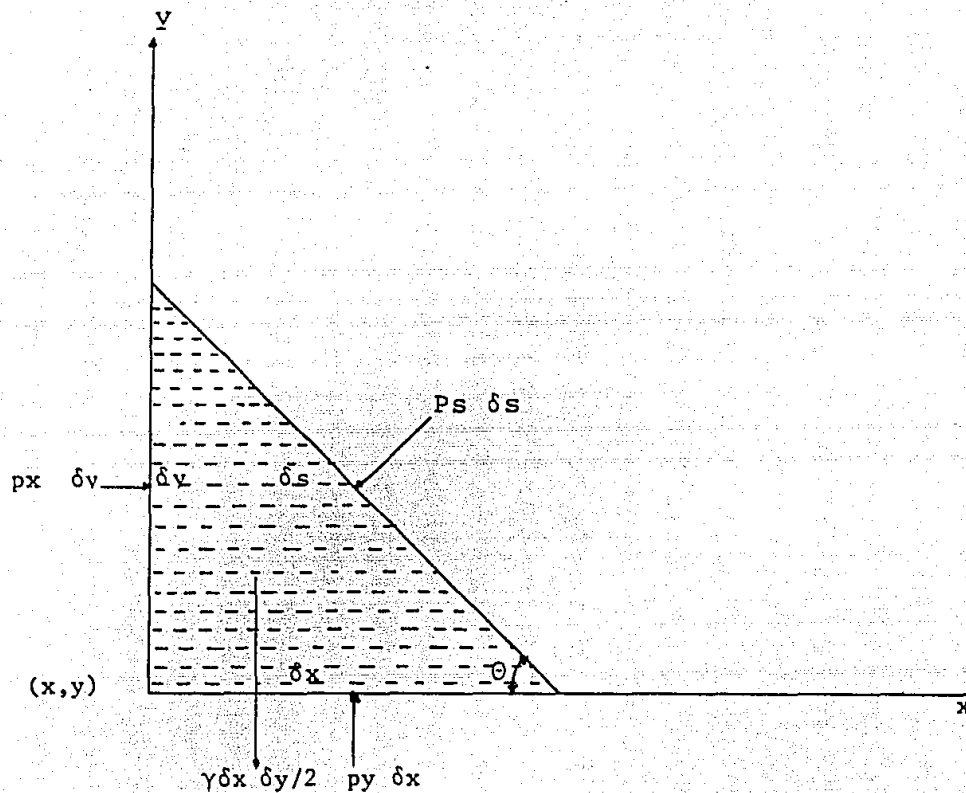


Fig. 2.6 Elementos de fluido en reposo

2.2 Variación de la presión en un fluido en reposo

Las fuerzas que actúan sobre un elemento de un fluido en reposo son: fuerzas de superficie y fuerzas másicas. En la figura 2.7 se muestra un elemento de un fluido en reposo. Considérese que el peso del elemento es la única fuerza másica que interviene y se puede expresar como

$$w = - \gamma \delta x \delta y \delta z \quad (2.28)$$

Por otro lado, si la presión en el centro del elemento es "p", la fuerza de superficie que actúa en la cara perpendicular al eje "y", más próximo al origen de las coordenadas, es aproximadamente

$$\left(p - \frac{\partial p}{\partial y} \frac{\delta y}{2} \right) dx dz \quad (2.29)$$

La fuerza de superficie que actúa en la cara opuesta es aproximadamente

$$\left(p + \frac{\partial p}{\partial y} \frac{\delta y}{2} \right) dx dz \quad (2.30)$$

Donde " $\delta y/2$ " es la distancia desde el centro del elemento a cualquiera de sus dos caras perpendiculares al eje "y".

Realizando una suma de fuerzas verticales, se tiene lo siguiente

$$\delta F_y = - (\partial p / \partial y) \delta x \delta y \delta z - \gamma \delta x \delta y \delta z \quad (2.31)$$

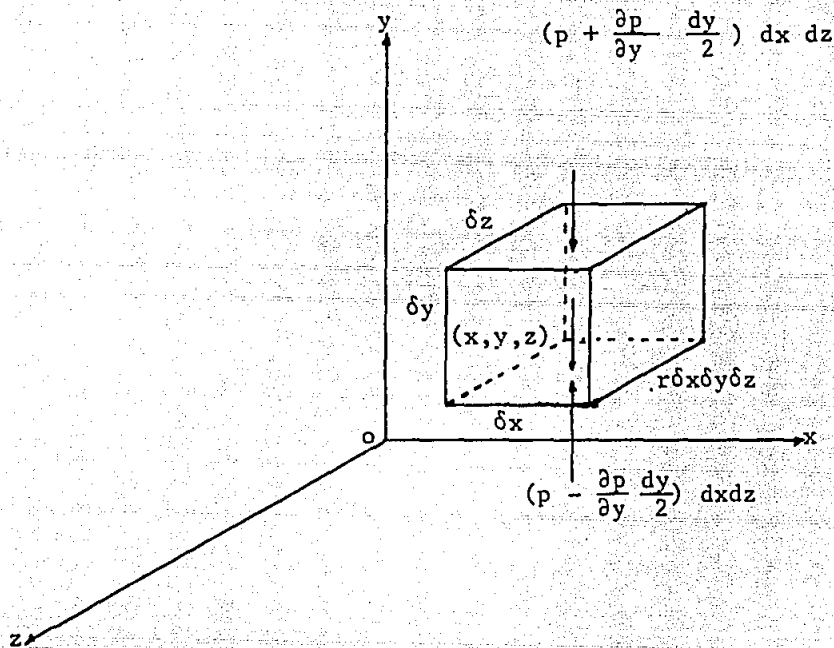


Fig. 2.7 Sistema de fuerzas que actúan en un fluido en reposo.

De igual manera se obtienen las siguientes ecuaciones

$$\delta F_x = - (\partial p / \partial x) \delta x \delta y \delta z \quad (2.32)$$

$$\delta F_z = - (\partial p / \partial z) \delta x \delta y \delta z \quad (2.33)$$

Multiplicando (2.31), (2.32) y (2.33) por sus respectivos vectores unitarios y sumando, se obtiene el siguiente vector de fuerzas " δF ":

$$\begin{aligned} \delta F = \delta F_x \bar{i} + \delta F_y \bar{j} + \delta F_z \bar{k} = & - (\partial p / \partial x \bar{i} + \partial p / \partial y \bar{j} + \partial p / \partial z \bar{k}) \\ & - \gamma \delta x \delta y \delta z \bar{j} \end{aligned} \quad (2.34)$$

El volumen del elemento es:

$$\delta v = \delta x \delta y \delta z \quad (2.35)$$

Dividiendo (2.34) entre (2.35) y tomando el límite cuando $\delta v \rightarrow 0$, se obtiene la siguiente expresión:

$$\lim_{\delta v \rightarrow 0} \delta F / \delta v = - (\partial / \partial x \bar{i} + \partial / \partial y \bar{j} + \partial / \partial z \bar{k}) p - \gamma \bar{j} \quad (2.36)$$

donde:

$$(\partial / \partial x \bar{i} + \partial / \partial y \bar{j} + \partial / \partial z \bar{k}) = \nabla = \text{es el operador gradiente}$$

El gradiente de "p" con signo negativo, " $-\nabla p$ ", corresponde al campo vectorial "f" de las fuerzas de superficie por unidad de volumen debidas a la presión; es decir:

$$f = -\nabla p \quad (2.37)$$

La ley de variación de la presión para un fluido en reposo entonces es:

$$f - \gamma \vec{j} = 0 \quad (2.38)$$

En forma escalar:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad \frac{\partial p}{\partial y} = -\gamma \quad \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \quad (2.39)$$

La primera y la tercera de las expresiones (2.39), constituyen una forma del principio de Pascal y establecen que dos puntos de igual elevación en una misma masa de fluido en reposo tienen la misma presión.

Como "p" sólo es función de y, la segunda de las ecuaciones (2.39) se puede expresar como sigue:

$$dp = -\gamma dy \quad (2.40)$$

La ecuación (2.40) relaciona el cambio de presión con el peso específico y el cambio de elevación y es válida tanto para fluidos compresibles como para incompresibles.

Para fluidos que se pueden considerar como incompresibles y homogéneos, " γ " es constante y por lo tanto, integrando la ecuación (2.40) se obtiene

$$p = -\gamma y + c$$

donde:

c = constante de integración

La ley de variación de la presión hidrostática frecuentemente se escribe en la forma:

$$p = \gamma h \quad (2.41)$$

En la ecuación (2.41), " h " se mide verticalmente hacia abajo ($h = -y$) a partir de la superficie libre del líquido y " p " es el correspondiente aumento de la presión sobre el valor que toma en dicha superficie. La ecuación (2.41) se puede establecer tomando como elemento de fluido una columna verti

cal de líquido de altura finita "h" y haciendo coincidir su cara superior con la superficie libre del líquido.

2.3 Presión sobre una superficie plana sumergida dentro de un líquido

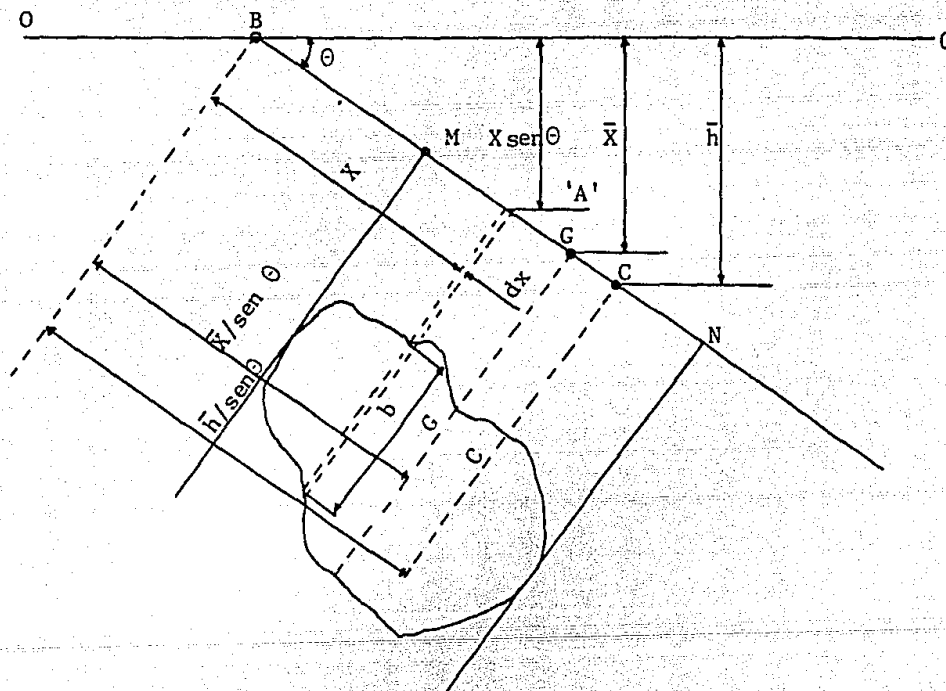


Fig. 2.8 Superficie plana sumergida dentro de un líquido.

La figura 2.8 muestra una superficie plana MN sumergida dentro de un líquido e inclinada un ángulo " θ " con respecto a la superficie libre de dicho líquido.

Consideremos un elemento de la superficie de ancho " b " y de espesor " dx ", localizado a una distancia " x " de el punto " B ".

La magnitud de la presión " P " ejercida por el líquido sobre el elemento, es

$$dp = \rho_l g x \text{ sen } \theta \quad (2.42)$$

La fuerza " P " provocada por la presión total sobre el elemento, es

$$d = \rho_l g x \text{ sen } \theta b dx \quad (2.43)$$

La fuerza provocada por la presión total sobre la superficie, es

$$P = \rho_l g \text{ sen } \theta \int x b dx \quad (2.44)$$

donde:

(2.45)

$\int x b dx =$ primer momento de área de la superficie con respecto al punto "B", y es igual a

$$\int x b dx = A \bar{x} / \sin \theta \quad (2.46)$$

en donde "A" es el área de la superficie

Sustituyendo la ecuación (2.46) en la ecuación (2.44) y simplificando algebraicamente se llega a

$$P = \rho_{\ell} g A \bar{x} \quad (2.47)$$

Deberá notar que la fuerza provocada por la presión total sobre una superficie plana es independiente del ángulo de inclinación que exista entre dicha superficie y la superficie libre del líquido en el cual se encuentre sumergida la superficie plana.

Se puede considerar que la fuerza provocada por la presión total, "P", actúa en el centro de presión "C".

Para determinar la posición del centro de presión es necesario realizar el siguiente análisis:

El momento de "P" con respecto a "B" es igual a la suma de los momentos de las fuerzas provocadas por la presión sobre el elemento con respecto a "B", por lo tanto:

$$P (\bar{h}/\text{sen } \theta) = \rho_l g \text{ sen } \theta \int x^2 b \, dx \quad (2.48)$$

como

$$P = \rho_l g A \bar{x}$$

Sustituyendo entonces en (2.48) se tiene la siguiente expresión

$$\rho_l g A \bar{x} (\bar{h}/\text{sen } \theta) = \rho_l g \text{ sen } \theta \int x^2 b \, dx \quad (2.49)$$

Dejando libre a \bar{h} en la ecuación (2.49)

$$\bar{h} = (\text{sen}^2 \theta / A \bar{x}) \int x^2 b \, dx \quad (2.50)$$

donde

$\int x^2 b \, dx$ = segundo momento de área de la superficie con respecto al punto "B" = I_B

Por lo tanto, de la ecuación (2.50) se tiene

$$\bar{h} = \text{sen}^2 \theta I_{B/A \bar{x}} \quad (2.51)$$

Por el teorema de los ejes paralelos

$$I_B = I_G + A\bar{x}^2 / \text{sen}^2 \theta \quad (2.52)$$

donde

I_G = Segundo momento de área de la superficie con respecto a los ejes que pasan por el centroide "G".

Sustituyendo la ecuación (2.52) en la ecuación (2.51), se tiene la siguiente expresión

$$\bar{h} = (I_G + (A\bar{x}^2 / \text{sen}^2 \theta)) (\text{sen}^2 \theta / A\bar{x}) \quad (2.53)$$

Cuando $\theta = 90^\circ$, la superficie es normal a la superficie libre del líquido, $\text{sen} \theta = 1$, y por lo tanto de la ecuación (2.53) se llega a

$$\bar{h} = (I_G + A\bar{x}^2) / (A\bar{x}) \quad (2.54)$$

3. MEDICION DE LA PRESION

3.1 El barómetro

A) El barómetro de mercurio común

El barómetro es uno de los instrumentos más usados para medir la presión. Este instrumento se usa con el fin de registrar la presión absoluta ejercida por la atmósfera.

Torricelli fué el primero en descubrir que la presión ejercida por la atmósfera puede soportar una columna de líquido contenida en un tubo de pequeño diámetro. La altura de dicha columna se utiliza para medir la presión atmosférica.

La figura 2.9 muestra este tipo de barómetro

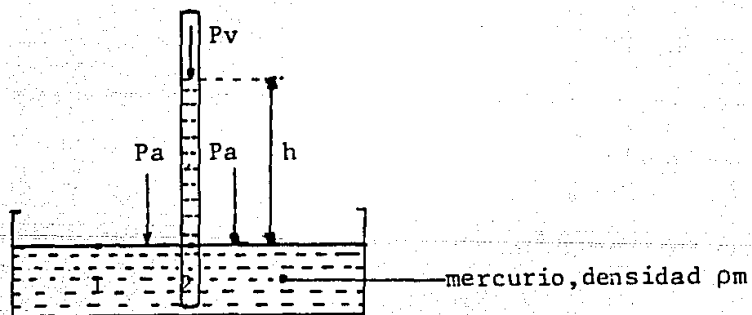


Fig. 2.9 Barómetro de mercurio común

El barómetro de mercurio común consiste en un tubo de vidrio cerrado en uno de sus extremos, lleno de mercurio e invertido, de tal manera que su extremo abierto quede sumergido en un recipiente con mercurio (figura 2.9). Mediante una escala apropiada se puede determinar la altura de la columna "h", quedando el espacio por encima de la columna lleno de vapor de mercurio. Si la presión "Pv" de este vapor se mide en centímetros de mercurio y "h" se mide en las mismas unidades, la presión en el punto 1 se puede expresar como

$$P_v + h = P_a \text{ (en centímetros de mercurio) } \quad (2.55)$$

donde

P_a , es la presión en el punto 1

Cabe aclarar que la presión parcial del vapor de mercurio es tan pequeña que puede despreciarse.

La altura de la columna de mercurio resultante es aproximadamente 760 mm de mercurio y depende fundamentalmente de la localidad, es decir, de la elevación sobre el nivel del mar.

La relación entre la altura de la columna de mercurio, llamada altura barométrica, y la presión atmosférica puede ser determinada por la ecuación (2.55), que también puede escribirse de la siguiente forma:

$$P_a = \rho_m g h = S_m \rho_w g h \quad (2.56)$$

donde

S_m = gravedad específica del mercurio = $\rho_m/\rho_w = 13.6$

ρ_m = densidad del mercurio

ρ_w = densidad del agua

En la ecuación (2.56) se ha despreciado la presión parcial del vapor del mercurio " P_v " y las unidades de " P_a ", presión atmosférica, corresponden a unidades propias de presión.

B) El barómetro de mercurio tipo sifón

El barómetro de mercurio tipo sifón consiste de un tubo en "U" con sus dos miembros de diferentes longitudes. El miembro más corto posee un ensanchamiento del tubo en su extremo y está abierto a la atmósfera. El miembro más largo tiene una longitud de alrededor de 900 mm. y está cerrado en su extremo. El tubo contiene mercurio.

En la figura 2.10 se muestra un barómetro de mercurio tipo sifón. La presión atmosférica actúa en el punto "B" y es capaz de soportar el peso de una columna de mercurio que se forma en el miembro más largo del tubo. La altura de dicha columna es igual a la diferencia de los niveles de mercurio que se forman en ambos miembros del tubo en "U". Sobre la colum-

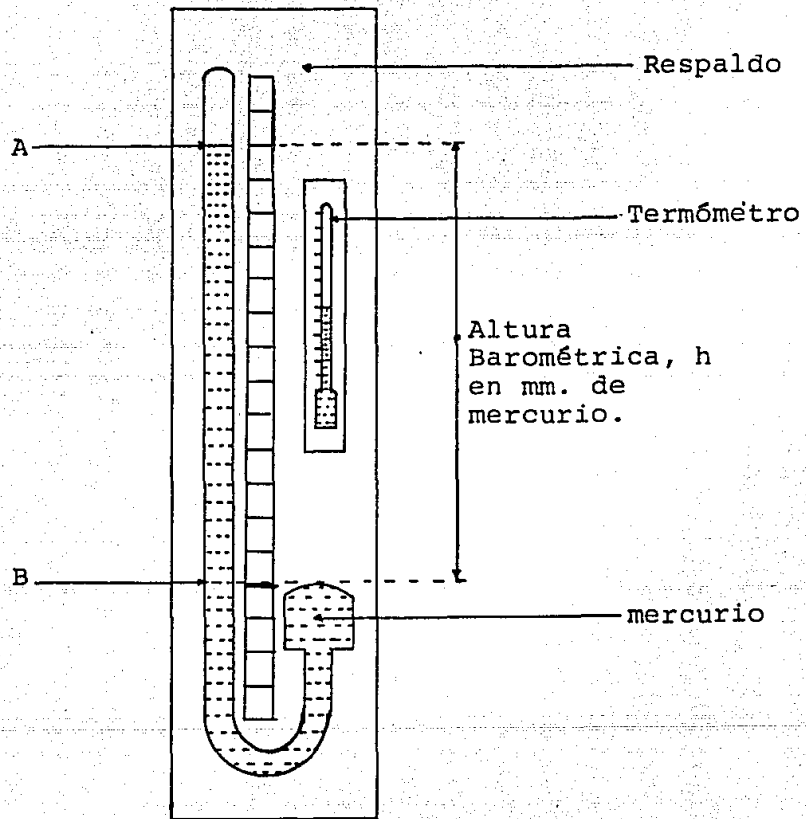


Fig. 2.10 Barómetro de mercurio tipo sifón.

na de mercurio que se forma en el miembro más largo del tubo, aparece un espacio dentro del tubo que no contiene mercurio en estado líquido; a este espacio se le conoce como espacio de Torricelli.

3.2 *El medidor de presión tipo Bourdon*

El medidor de presión tipo Bourdon es un instrumento típico para medir la diferencia entre una presión absoluta y la presión atmosférica; es decir, este instrumento sirve para medir las presiones manométricas. El elemento sensor de la presión consiste en un tubo de metal hueco, de sección transversal elíptica y encorvado en su longitud. Uno de los extremos de este tubo se encuentra cerrado y el otro extremo está comunicado a la presión que ha de medirse. Cuando aumenta la presión interna el tubo tiende a estirarse, accionando una manecilla mediante una serie de eslabones. Dicha manecilla indica el valor de cero cuando las presiones interna y externa al tubo son iguales, sin importar que valor tengan. El diagrama de este instrumento se presenta en la figura (2.11).

La escala del cuadrante se puede graduar de acuerdo con un sistema de unidades conveniente, siendo las más comunes: libras sobre pulgadas cuadradas, libras sobre pie cuadrados, pulgadas de mercurio, pies de agua, centímetros de mercurio,

milímetros de mercurio y kilogramos fuerza sobre centímetros cuadrado.

Debido a las características de construcción propias de este instrumento, la presión que se puede medir mediante su uso es la relativa a la del medio que lo rodea, generalmente la atmósfera local.

Nota: Antes de usar este instrumento deberá calibrarse usando un medidor de presión estandar o un calibrador de pesos muertos. El diagrama de este proceso de calibración se muestra en la figura 3.12.

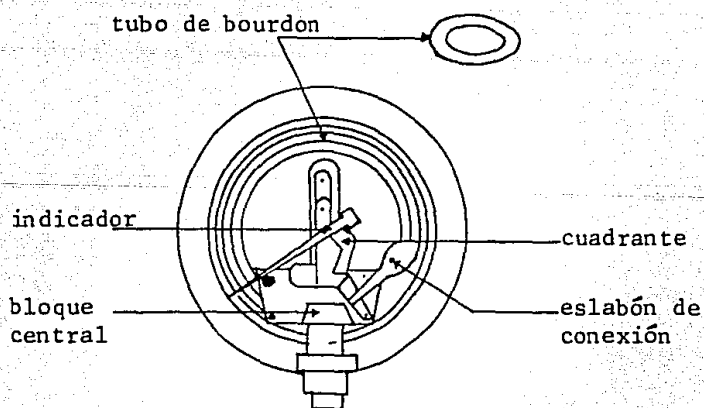


Fig. 2.11 Medidor de presión tipo Bourdon.

3.3 Manómetros de líquidos

Los manómetros de líquidos son dispositivos que se emplean para medir diferencias de presiones mediante columnas de líquidos.

El manómetro más sencillo, comúnmente llamado piezómetro, se ilustra en la figura 2.12 a) y sirve para medir la presión de un fluido por encima del cero manométrico (presión atmosférica). Este dispositivo consiste en un tubo vertical de vidrio conectado al recipiente cuya presión se desea medir; el líquido que lleva en su interior asciende hasta alcanzar el equilibrio, determinándose entonces la presión mediante la distancia vertical desde el menisco (en la superficie libre) hasta el punto de interés. Las unidades de la presión así medida estarán dadas en unidades de longitudes de altura de la columna del líquido en el piezómetro. El piezómetro no trabaja con presiones manométricas negativas, ya que en tal caso se tendría el paso del aire hacia el recipiente a través del tubo manométrico. Es impráctico medir presiones muy grandes con el piezómetro, pues en tal caso se necesitaría un tubo demasiado largo.

Para la medición de presiones manométricas pequeñas en un líquido, ya sean positivas o negativas, el tubo del manómetro puede tomar la forma que se muestra en la figura 2.12 b). En

este caso el menisco puede alcanzar la posición de equilibrio por debajo del punto "A", como aparece en la figura.

Cuando se tienen presiones manométricas positivas o negativas de mayor magnitud, generalmente se emplea un segundo líquido de mayor gravedad específica inmiscible en el primero, tal como se muestra en la figura 2.12 c). Al segundo líquido se le conoce como fluido manométrico. En este caso el fluido dentro del recipiente puede ser un gas.

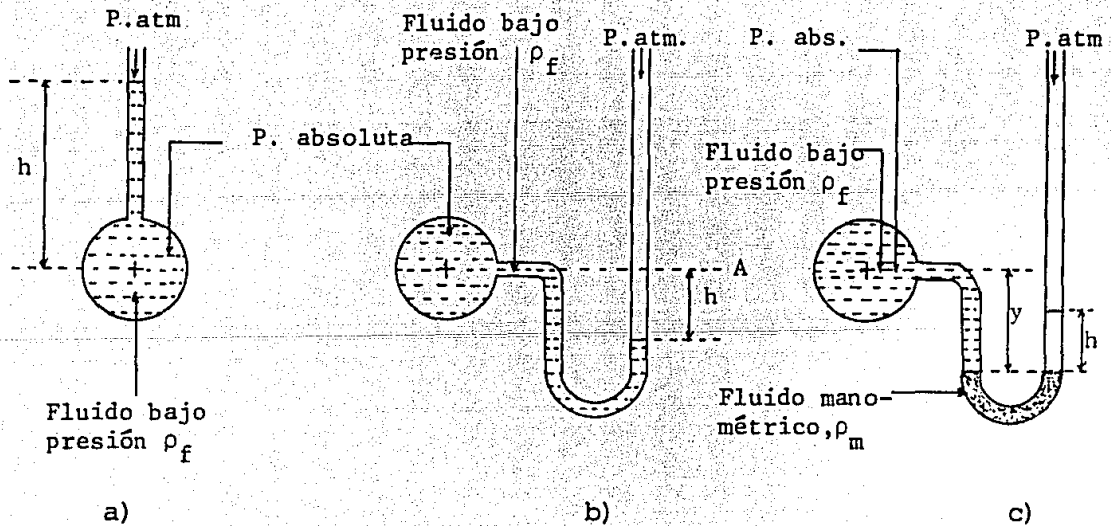


Fig. 2.12 Manómetros de líquidos

Existen otras clases de manómetros empleados para medir con mayor precisión diferencias de presiones muy grandes o muy pequeñas. En ciertos tipos de manómetros, es posible medir con bastante exactitud la diferencia de altura entre dos meniscos mediante pequeños telescopios provistos de retículas horizontales. La posición de los telescopios se puede variar con un piñon y un tornillo de movimiento lento, ajustando así con gran precisión las retículas a los meniscos. La diferencia en elevación de los meniscos (es decir, la diferencia de presiones manométricas) puede leerse con un vernier.

Se puede construir un manómetro para medir pequeñas diferencias de presión a través de grandes diferencias de nivel entre meniscos. La figura 2.13 muestra este tipo de manómetros. Dentro del dispositivo existen dos líquidos inmiscibles entre sí e inmiscibles con el fluido cuyas presiones se han de medir. El líquido manométrico más pesado se coloca en la parte inferior del tubo en forma de "U", llenado hasta el nivel 0-0; a continuación se agrega el segundo líquido manométrico a ambos lados del tubo, hasta el nivel 1-1 localizado en los depósitos superiores de base amplia. El resto del espacio de los depósitos queda lleno del líquido o del gas del sistema.

Existe otro tipo de manómetro conocido como manómetro inclinado que se emplea frecuentemente para medir pequeñas dife--

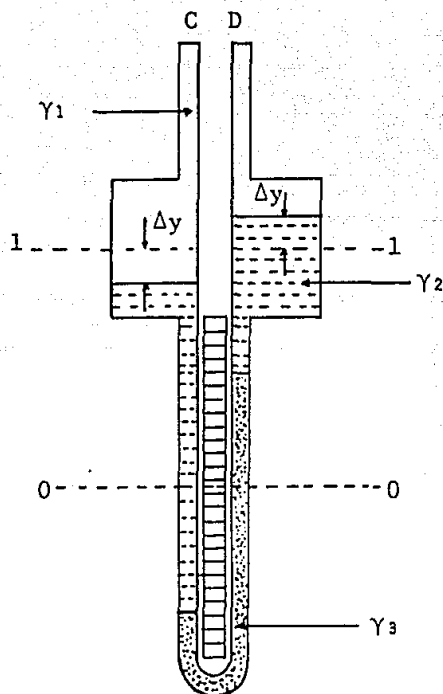


Fig. 2.13 Manómetro de precisión para la medición de presiones grandes.

rencias de presiones en gases. La figura 2.14 muestra este tipo de manómetros; los puntos "A" y "B" están abiertos a la atmósfera. La escala inclinada se ajusta de tal manera que el menisco ocupe la posición cero. Dado que para una misma diferencia de presiones el desplazamiento del menis--

co es mayor en un tubo inclinado que en un tubo vertical, el instrumento permite mayor precisión al hacer una lectura en la escala.

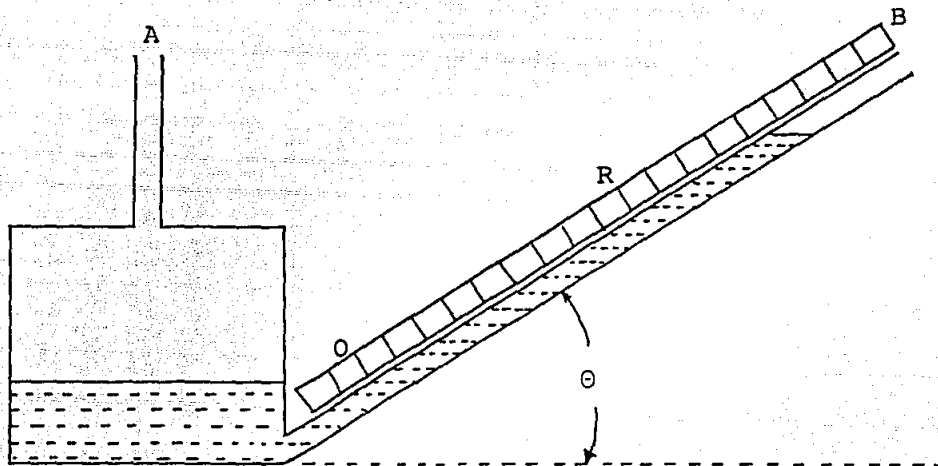


Fig. 2.14 Manómetro inclinado

De la figura 2.12 c) la ecuación de presiones en el nivel 0-0 es

$$P + \rho_f g y = P_a + \rho_m g h \quad (2.57)$$

Por lo tanto, de la ecuación (2.57) la presión manométrica es

$$P - P_a = \rho_m g h - \rho_f g y \quad (2.58)$$

Sustituyendo las gravedades específicas en la ecuación (2.58) tenemos

$$P - P_a = S_m \rho_w g h - S_f \rho_w g y \quad (2.59)$$

donde

$$\rho_w = \text{densidad del agua}$$

Simplificando algebraicamente la ecuación (2.59) se tiene

$$(P - P_a)/(\rho_w g) = S_m h - S_f y \quad (\text{metros de agua}) \quad (2.60)$$

Si el fluido que se encuentra sometido a presión es un gas, su densidad " ρ_f " es muy pequeña y por lo tanto puede desprenderse, es decir

$$\rho_f g y \approx 0$$

Y entonces, la ecuación (2.58) toma la siguiente forma:

$$P - P_a = \rho_m g h \quad (\text{N/m}^2) \quad (2.61)$$

o bien

$$(P - P_a) / (\rho_w g) = S_m h \quad (\text{metros de agua}) \quad (2.62)$$

4. ESTABILIDAD DE CUERPOS FLOTANTES

4.1 Flotación

Cuando un cuerpo flota libremente en un fluido en reposo, ya sea parcial o totalmente sumergido, actuarán sobre el cuerpo dos fuerzas que son: El peso del cuerpo, que actúa verticalmente hacia abajo a través del centro de gravedad de dicho cuerpo y la fuerza de flotación que actúa verticalmente hacia arriba y que es ejercida por el fluido circundante sobre el cuerpo.

La fuerza de flotación en un cuerpo sumergido es igual a la diferencia entre la fuerza de presión que actúa verticalmente sobre su lado inferior y la fuerza de presión que actúa verticalmente sobre su lado superior.

En la figura 2.15 a), la presión que actúa en la parte superior del prisma de área " δA " es " p " y la presión que actúa en la parte inferior del prisma es " $(p + \rho_l g h)$ ". De tal manera que la fuerza neta que actúa verticalmente hacia

arriba sobre el prisma o fuerza de flotación, será

$$\delta F_B = (P + \rho l g h) \delta A - P \delta A \quad (2.63)$$

De la ecuación (2.63), simplificando algebraicamente se tiene que:

$$\delta F_B = \rho l g h \delta A = \rho l g \delta v \quad (2.64)$$

donde

ρl = densidad del fluido

g = aceleración de la gravedad

δv = volumen del prisma = $h \delta A$

Si el volumen total del cuerpo se encuentra formado por un gran número de prismas, la fuerza de flotación sobre el volumen del cuerpo será

$$F_B = \rho l g \int v \delta v \quad (2.65)$$

En donde se ha considerado que " $\rho l g$ " es constante en todo el volumen del cuerpo.

Realizando la integral volumétrica de la ecuación (2.65), la fuerza de flotación será

$$F_B = \rho l g v \quad (2.66)$$

donde

v = volumen total del cuerpo

La ecuación (2.66) señala que la fuerza de flotación es igual al peso del fluido desalojado por el cuerpo, siendo ésta la base del principio de Arquímedes.

Para determinar la línea de acción de la fuerza de flotación, se toman momentos con respecto a un eje conveniente "O" y se igualan al momento resultante, es decir

$$\rho l g \int x dv = \rho l g v \bar{x} \quad (2.67)$$

Simplificando algebraicamente y dejando libre a " \bar{x} ", se tiene la siguiente expresión:

$$\bar{x} = (1/v) \int x dv \quad (2.68)$$

donde

\bar{x} = distancia desde el eje "0" hasta la línea de acción de la fuerza de flotación.

La distancia " \bar{x} " es igual a la coordenada del centroide del volumen; por tanto, la fuerza de flotación actúa a través del centroide del volumen del fluido desalojado conocido como centro de flotación.

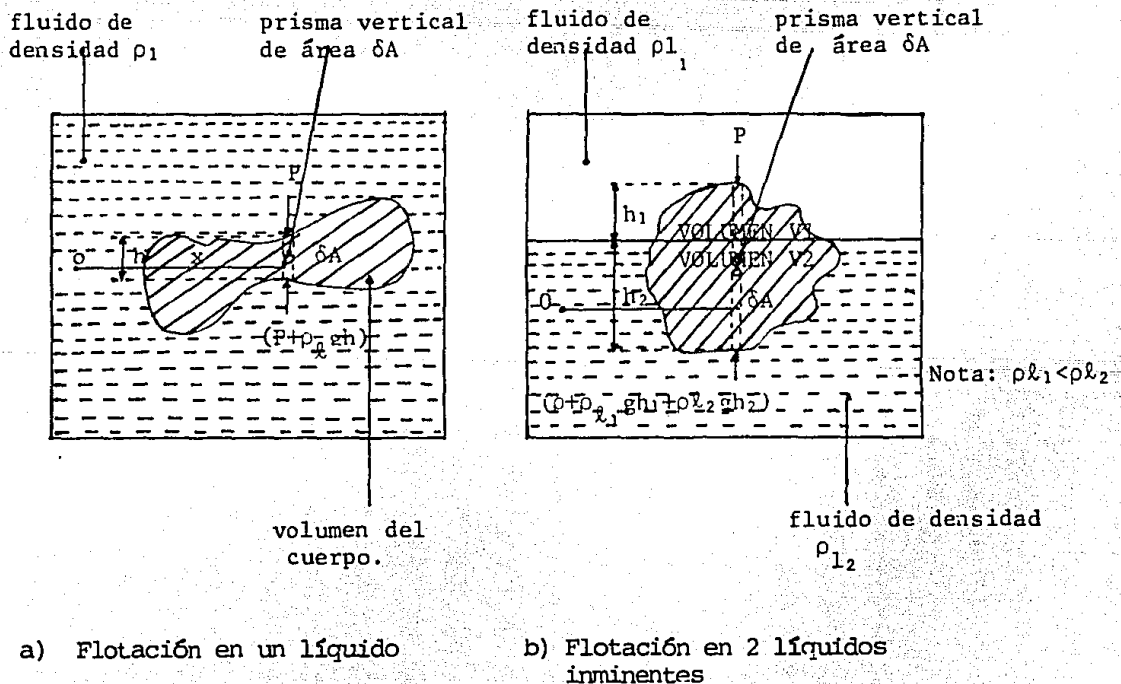


Fig. 2.15 Sistemas de fuerzas que actúan en dos cuerpos en flotación

En el caso de un cuerpo que flota en la intercara de dos fluidos estáticos de densidades " ρ_1 " y " ρ_2 " que no se mezclan (figura 2.15 b), por ejemplo aire y agua, se realiza el siguiente análisis.

Considerando el prisma vertical del cuerpo de la figura 2.15b), de área " δA ", se tiene

la presión que actúa en la parte superior del prisma es " p " y la presión que actúa en la parte inferior de dicho prisma es " $(P + \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2)$ ".

Por lo tanto la fuerza de flotación será:

$$\delta F_B = (P + \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2) \delta A - P \delta A \quad (2.69)$$

Simplificando algebraicamente esta ecuación se tiene que:

$$\delta F_B = (\rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2) \delta A \quad (2.70)$$

Por lo tanto la fuerza de flotación sobre todo el volumen del cuerpo será

$$F_B = \rho_1 g \int_V h_1 \delta A + \rho_2 g \int_V h_2 \delta A \quad (2.71)$$

en donde se ha considerado que " $\rho_1 g$ " y " $\rho_2 g$ " son constantes en todo el volumen del cuerpo.

Como $h_1 \delta A = \delta v_1$ y $h_2 \delta A = \delta v_2$, realizando las integrales volumétricas de la ecuación (2.71), llegamos a la siguiente expresión

$$F_B = \rho_1 g v_1 + \rho_2 g v_2 \quad (2.72)$$

Para localizar la línea de acción de la fuerza de flotación, se toman momentos con respecto al eje "0" que se señala en la figura 2.15 b), obteniéndose

$$F_B \bar{x} = \rho_1 g \int x dv_1 + \rho_2 g \int x dv_2 \quad (2.73)$$

De la ecuación (2.73), despejando " \bar{x} " y sustituyendo el valor de la " F_B " dado por la ecuación (2.72), obtenemos la siguiente expresión

$$\bar{x} = (\rho_1 g \int x dv_1 + \rho_2 g \int x dv_2) / (\rho_1 g v_1 + \rho_2 g v_2) \quad (2.74)$$

Realizando las integrales del numerador de la ecuación (2.74) obtenemos

$$\bar{x} = (\rho_1 g \bar{x}_1 v_1 + \rho_2 g \bar{x}_2 v_2) / (\rho_1 g v_1 + \rho_2 g v_2) \quad (2.75)$$

Donde " \bar{x}_1 " y " \bar{x}_2 " son las coordenadas de los centroides de " v_1 " y " v_2 ", respectivamente. En este caso, la resultante generalmente no pasa por el centroide del volumen total.

De la ecuación (2.72) es claro que cuando un cuerpo flota libremente entre un gas y un líquido, como por ejemplo entre el aire y el agua y ya que la densidad del gas es despreciable comparada con la densidad del líquido, el peso de la masa de gas desalojada por el cuerpo será despreciable comparado con el peso de la masa de líquido desalojado; por lo tanto la ecuación (2.72) toma la siguiente forma

$$F_B = \rho l_2 g v_2 \quad (2.76)$$

F_B = peso de la masa de líquido desalojado por el cuerpo.

4.2 Equilibrio de cuerpos en flotación

Para que un cuerpo flote libremente en un fluido y esté en equilibrio, deben cumplirse las siguientes condiciones:

1. El empuje sobre el cuerpo debe ser igual al peso de dicho cuerpo.

2. El centro de gravedad del cuerpo y su centro de flotación deben localizarse en la misma línea vertical.

Se dice que un cuerpo flota en equilibrio estable, si para cualquier cambio, por pequeño que sea con respecto a su posición original, existen fuerzas o momentos que tienden a regresarlo a dicha posición. Esta condición debe satisfacerse en todos los casos en que el centro de gravedad del cuerpo se encuentra abajo del centro de flotación.

Un cuerpo posee estabilidad lineal cuando al tener un desplazamiento lineal en cualquier dirección, por pequeño que este sea, se presentan fuerzas restauradoras que tienden a regresar al cuerpo a su posición original. Se dice que un cuerpo tiene estabilidad rotacional cuando se presentan un par de fuerzas restauradoras al tenerse un desplazamiento angular por pequeño que este sea.

Un cuerpo puede flotar en equilibrio rotacional estable, inestable o neutral.

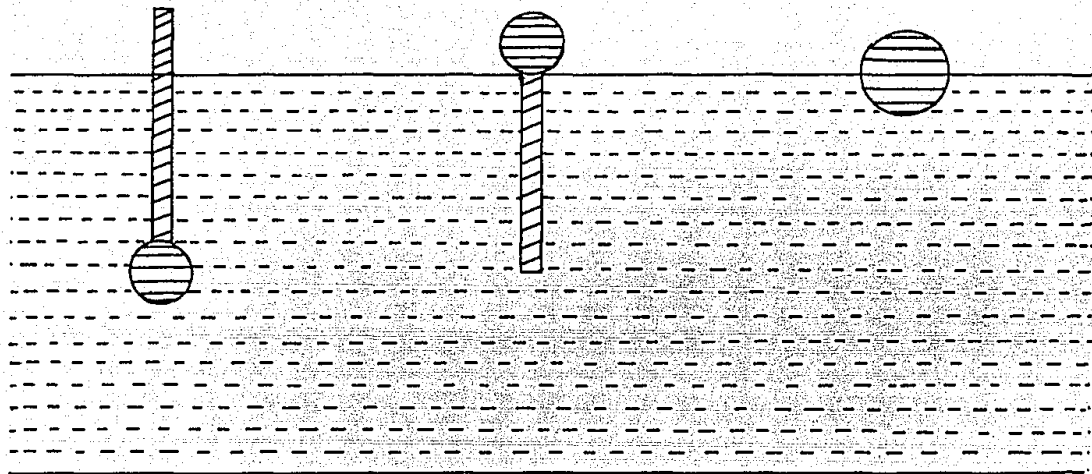
- a) Equilibrio rotacional inestable. Un cuerpo flota de manera inestable cuando con cualquier desplazamiento angular pequeño desarrollará un par de fuerzas que tenderán a incrementar el movimiento.

- b) Equilibrio rotacional estable. Un cuerpo flota de manera estable cuando con cualquier desplazamiento angular pequeño aparecen un par de fuerzas que lo regresan a su posición original.
- c) Equilibrio rotacional neutral. Se presenta cuando en un cuerpo que es desplazado angularmente no aparecen pares de fuerzas que incrementen ese desplazamiento o que lo regresen a su posición original.

En la siguiente figura se presentan estos tres tipos de equilibrio.

Análisis de estabilidad rotacional

Un cuerpo parcialmente sumergido en un líquido es rotacionalmente estable cuando su centro de gravedad está por abajo de su centro de flotación, tal como se muestra en la figura 2.16 a). Si el cuerpo se gira en el sentido contrario al de las manecillas del reloj, como en la figura 2.17 b), la fuerza de flotación y el peso del cuerpo formarán un par de fuerzas en el sentido de las manecillas del reloj que tenderán a regresar al cuerpo a su posición original.



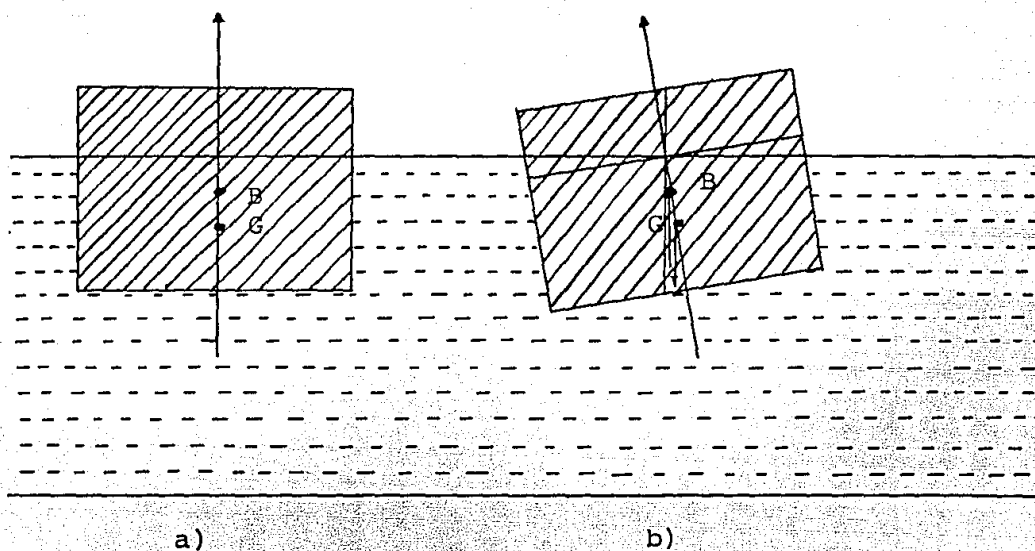
a) equilibrio
rotacional
estable

b) equilibrio
rotacional
inestable

c) equilibrio
rotacional
neutral

Fig. 2.16 Equilibrios rotacionales

Sin embargo, existe una gran cantidad de cuerpos que adquieren equilibrio estable cuando su centro de gravedad está encima de su centro de flotación, como se observa en la figura 2.18.



B = centro de flotación
G = centro de gravedad

Fig. 2.17 Cuerpo rotacionalmente estable

En la figura 2.18, la superficie libre original del líquido es R-S y el centro de flotación está en el punto "B", localizado en la misma línea vertical en que se localiza el centro de gravedad "G" del cuerpo, pero abajo de él. Cuando

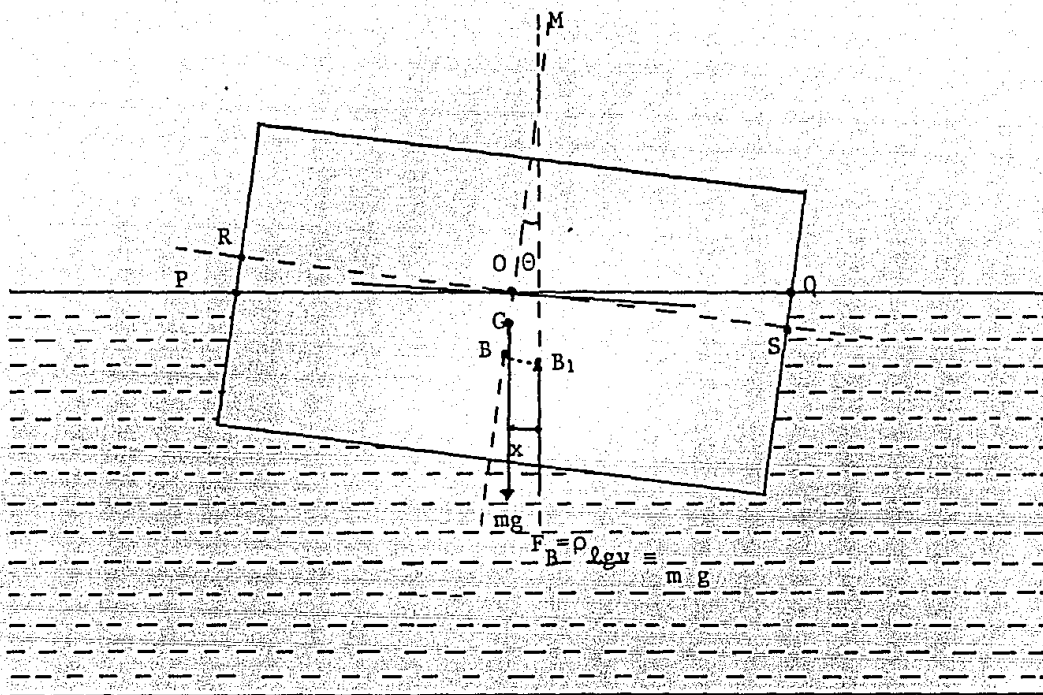


Fig. 2.18 Cuerpo rotacionalmente estable cuyo centro de gravedad está sobre su centro de flotación.

el cuerpo es sometido a un desplazamiento angular pequeño θ el nivel del líquido cambia a la posición PQ , modificándose también la forma de las secciones sumergidas y emergidas del cuerpo, ocasionando que el centro de flotación se mueva de "B" a "B₁". De la figura 2.18 se observa que a consecuencia del desplazamiento angular emerge la cuña ORP del cuerpo y se sumerge la cuña OQS .

$\overline{BB_1}$, debe ser paralela a la línea que une los centros de gravedad de las cuñas mencionadas. La fuerza de empuje " F_{B_1} " actúa verticalmente hacia arriba pasando por el punto " B_1 " y cortando la línea \overline{BG} en el punto " M ". En esta posición el cuerpo se encuentra en equilibrio estable ya que existirá un momento de magnitud " $m g x$ ", que regresará al cuerpo a su posición original.

Cuando el ángulo " θ " es pequeño se tiene que

$$x = GM \cdot \theta \quad (2.77)$$

Por lo tanto, el momento ocasionado por el par restaurador, será

$$T = mg \cdot GM \cdot \theta \quad (2.78)$$

Al punto " M " se le llama metacentro. La posición relativa del metacentro con respecto al centro de gravedad del cuerpo, gobierna la estabilidad del mismo.

Para este tipo de cuerpo en los cuales el centro de gravedad está encima del centro de flotación, en la misma línea vertical, las condiciones que gobiernan su estabilidad son las siguientes:

1. Cuando el metacentro está encima del centro de gravedad, el cuerpo está en equilibrio estable.
2. Cuando el metacentro coincide con el centro de gravedad, el cuerpo está en equilibrio neutral.
3. Cuando el metacentro esta abajo del centro de gravedad, el cuerpo se encuentra en equilibrio inestable.

La distancia \overline{GM} se conoce como altura metacéntrica y debe ser de valor positivo para que el cuerpo sea estable.

4.3 Determinación analítica de la altura metacéntrica

La figura 2.19 muestra un cuerpo rectangular sumergido dentro de un líquido en reposo e inclinado un ángulo " $\Delta\theta$ " con respecto a la superficie libre del líquido. La inclinación de este cuerpo provoca que una cuña OQS del mismo cuerpo quede inmersa en el líquido, mientras que otra cuña OPR emerge del líquido. El efecto que causa esta inclinación, es que la fuerza de flotación ya no se concentre en el punto "B", sino en el punto "B₁".

En la figura 2.19, las variables utilizadas corresponden a lo siguiente:

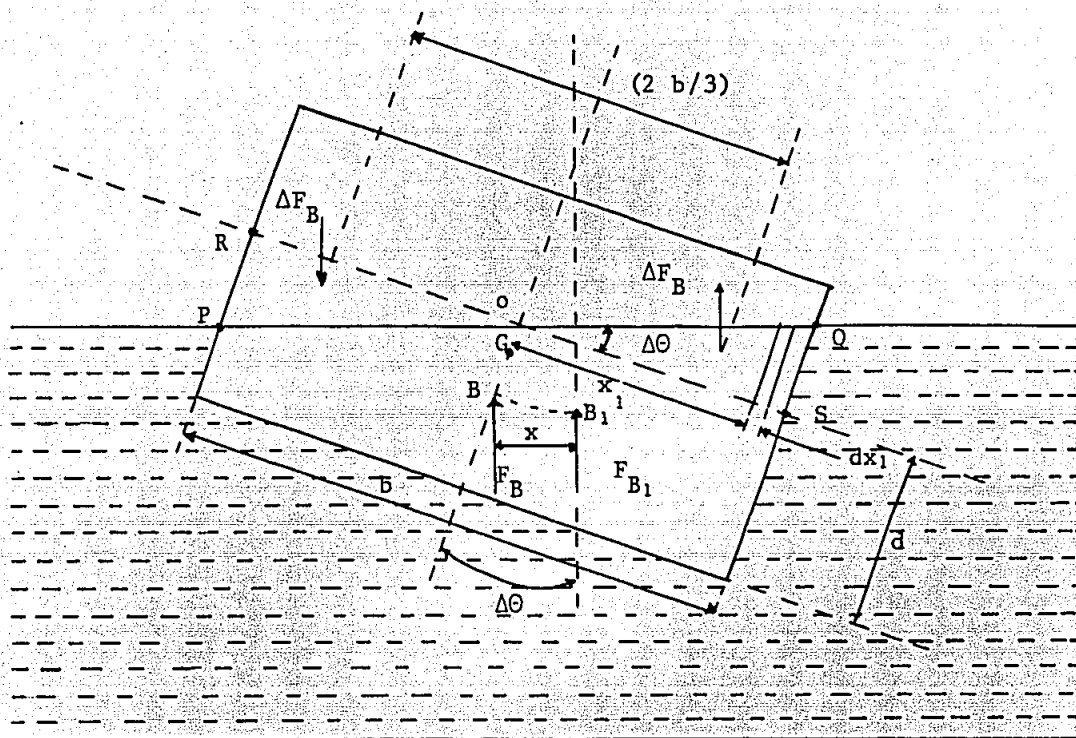


Fig. 2.19 Cuerpo rectangular inclinado flotando en un líquido.

F_B = fuerza de flotación inicial (antes de la inclinación) que actúa en el punto "B"

F_{B_1} = fuerza de flotación que aparece cuando el cuerpo está inclinado y que actúa en el punto "B₁"

ΔF_B = fuerza de flotación que aparece debido a la inmersión de la cuña OQS y a la emersión de la cuña OPR y que actúa en los respectivos centros de gravedad de las cuñas.

Para encontrar la posición del punto "B₁", conviene expresar la fuerza de flotación "F_{B₁}", de la siguiente manera

$$F_{B_1} = F_B + \Delta F_B - \Delta F_B \quad (2.79)$$

Tomando momentos con respecto al punto "B", se tiene la siguiente expresión

$$F_{B_1} x = \Delta F_B (2 b \cos \Delta\theta/3) \quad (2.80)$$

Si el ángulo " $\Delta\theta$ " es pequeño, el coseno del mismo se aproxima a la unidad; entonces la ecuación (2.80) se puede escribir como sigue

$$F_{B_1} x = \Delta F_B (2 b/3) \quad (2.81)$$

De la ecuación (2.81) dejando libre a la distancia "x", obtenemos

$$x = (\Delta F_B / F_{B_1}) (2 b/3) \quad (2.82)$$

O bien, como $F_B = F_{B_1}$ (según la ecuación (2.79)), la ecuación (2.82) puede escribirse como

$$x = (\Delta F_B / F_B) (2 b/3) \quad (2.83)$$

Con las ecuaciones (2.82) y (2.83) obtenemos la distancia "x" que se ha desplazado el centro de flotación del punto "B" al punto "B₁", a causa de la inclinación del cuerpo. Es decir:

$$x = \frac{\text{momento causado por las fuerzas de flotación de las cuñas}}{\text{peso del líquido desalojado por el cuerpo}}$$

Como la posición del punto "B₁" varía con el ángulo de inclinación " $\Delta\theta$ ", conviene trabajar en términos del metacentro "M", ya que éste permanece fijo para ángulos de inclinación pequeños.

El momento causado por las fuerzas de flotación de las cuñas también puede calcularse considerando un elemento de la cuña OQS localizado a una distancia " x_1 " del punto "O", tal como lo muestra la figura 2.19.

Para ángulos de inclinación " $\Delta\theta$ " pequeños, de la figura anterior se observa lo siguiente:

altura del elemento = $x_1 \Delta\theta$

volumen del elemento = $dL \Delta\theta x_1 dx_1$

donde

dL = espesor del elemento

El peso del líquido desalojado por el elemento, que es igual al empuje sobre el elemento, es

$$dF_B = \rho l g dL \Delta\theta x_1 dx_1 \quad (2.84)$$

Por lo tanto, el momento ocasionado por el empuje sobre el elemento es

$$dM = \rho l g dL \Delta\theta x_1^2 dx_1 \quad (2.85)$$

Entonces, el momento ocasionado por la presencia de las cuñas será:

$$dM = \rho l g \Delta\theta / x_1^2 dx_1 dL \quad (2.86)$$

Por lo tanto de las ecuaciones (2.81) y (2.86), debe cumplirse la siguiente igualdad

$$\Delta F_B (2 b/3) = \rho l g \Delta\theta / dA x_1^2 \quad (2.87)$$

donde

$$dA = \text{área del elemento} = dx_1 dL$$

Por otro lado

$$\int dA x_1^2 = \text{segundo momento de área del elemento con respecto al punto "O" y se simboliza por la letra "I"}$$

Sustituyendo el valor de $\Delta F_B (2b/3)$ dado por la ecuación (2.87) en la ecuación (2.83), obtenemos que

$$x = (\rho_l g \Delta \theta I) / F_B \quad (2.88)$$

También

$$F_B = \rho_l g v \quad (2.89)$$

donde

$$v = \text{volumen del líquido desalojado por el cuerpo}$$

Sustituyendo la ecuación (2.89) en la ecuación (2.88), se llega a:

$$x = \Delta \theta I / v \quad (2.90)$$

De la figura (2.19) se observa que

$$x = \overline{BM} \Delta\theta \quad (2.91)$$

Igualando las ecuaciones (2.90) y (2.91) y simplificando algebraicamente llegamos a que

$$\overline{BM} = I/v \quad (2.92)$$

Además la altura metacéntrica es

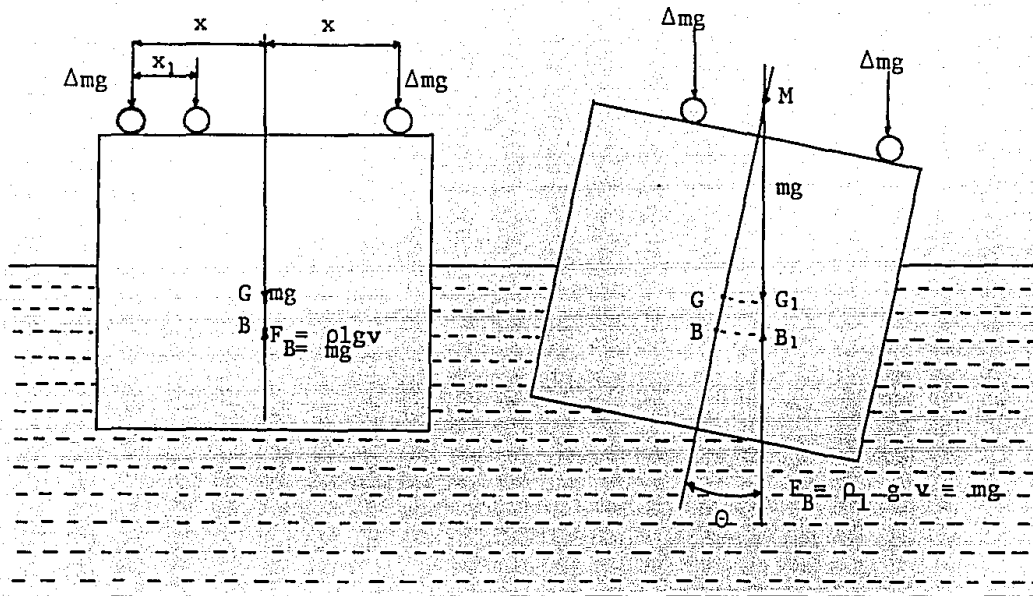
$$\overline{GM} = \overline{BM} - \overline{BG} \quad (2.93)$$

Como ya se indicó, este análisis sólo es válido para ángulos de inclinación " $\Delta\theta$ " pequeños, de tal manera que " $\Delta\theta$ " medido en radianes sea aproximadamente igual a la tangente de dicho ángulo. La inclinación óptima para la validez del anterior análisis es entre 10° y 15° .

4.4 Determinación experimental de la altura metacéntrica

En la figura 2.20 a) se muestra un cuerpo rectangular cuya altura metacéntrica se desea determinar. El cuerpo flota en un líquido en reposo. Sobre el cuerpo se colocan dos pequeñas masas de magnitud " Δm ", equidistantes al eje ver-

tical. Si una de las masas se desplaza hacia el centro, el cuerpo se inclinará un ángulo " θ ", tal como se muestra en la figura (2.20 b).



a) Masas adicionales equidistantes

b) Una masa adicional desplazada

Fig. 2.20 Cuerpo en flotación con sistema de masas adicionales.

Experimentalmente, el ángulo de inclinación " θ " se mide mediante un péndulo suspendido de algún punto conveniente del cuerpo. El cuerpo se inclina hasta el punto en que la diferencia de momentos ocasionados por las fuerzas " Δmg " y el momento ocasionado por la fuerza de flotación " F_{B_1} " son iguales pero de signo contrario.

Realizando una suma de momentos con respecto al punto "G",
tenemos

$$F_{B_1} \overline{GG_1} - \Delta mg(x) \cos \theta + \Delta mg(x-x_1) \cos \theta = 0 \quad (2.94)$$

Pero como $F_{B_1} = mg$, donde "mg" es el peso del sistema (peso del cuerpo más el peso de las masas) y también es igual al peso del líquido desalojado, sustituyendo esta igualdad en la ecuación (2.94) llegamos a

$$mg \overline{GG_1} - \Delta mg(x) \cos \theta + \Delta mg(x - x_1) \cos \theta = 0 \quad (2.95)$$

Simplificando algebraicamente se tiene

$$mg \overline{GG_1} - \Delta mg(x_1) \cos \theta = 0 \quad (2.96)$$

Despejando " $\overline{GG_1}$ ",

$$\overline{GG_1} = (\Delta mg(x_1) \cos \theta) / mg \quad (2.97)$$

Pero también

$$\overline{GG_1} = GM \tan \theta \quad (2.98)$$

Sustituyendo la ecuación (2.98) en la ecuación (2.97),

$$GM \tan \theta = (\Delta mg(x_1) \cos \theta) / (mg) \quad (2.99)$$

Despejando " \overline{GM} " de la ecuación (2.99), obtenemos

$$\overline{GM} = (\Delta mg (x_1) \cos \theta) / (mg \tan \theta) \quad (2.100)$$

Simplificando algebraicamente la ecuación (2.100), se concluye que

$$\overline{GM} = (\Delta m/m) (x_1 \cos \theta / \tan \theta) \quad (2.101)$$

El valor de la altura metacéntrica se obtiene graficando los valores que tome " \overline{GM} " contra el ángulo de inclinación " θ ", para ciertos desplazamientos " x_1 " de alguna de las dos masas adicionales.

CAPITULO III

DESARROLLO DE PRACTICAS PARA LABORATORIO

3.1 Experimentos

Experimento 1. Medición de densidades y gravedades específicas.

Objetivo. Determinar la densidad y la gravedad específica.

Aparatos. Hidrómetro universal y recipiente

Observaciones. La gravedad específica es leída directamente de la escala.

Método:

- A) Llene un vaso de hidrómetro con agua suficiente para que el hidrómetro flote, y asegúrese que el nivel del agua alcanza el nivel marcado en la escala con el número 1.0
- B) Llene tres recipientes de hidrómetros con diversos líquidos para ser examinados con una cantidad suficiente para que el hidrómetro flote, y marque con cada líquido la escala medida.

Nota: Se sugiere que los líquidos sean los usados en el experimento 2, para la determinación de la viscosidad: aceite de motor, glicerina y aceite de risino.

Resultados:

Presión barométrica _____ mm de Hg. Temperatura _____ °C

Líquidos	Escala leída gravedad específica, S.
Agua	
Aceite de motor	
Glicerina	
Aceite de risino	

Por el concepto de gravedad específica

$$\rho_l = S \rho_w \quad (3.1)$$

Líquido	Densidad gm/ml	Kg/m ³
Agua		
Aceite de motor		
Glicerina		
Aceite de risino		

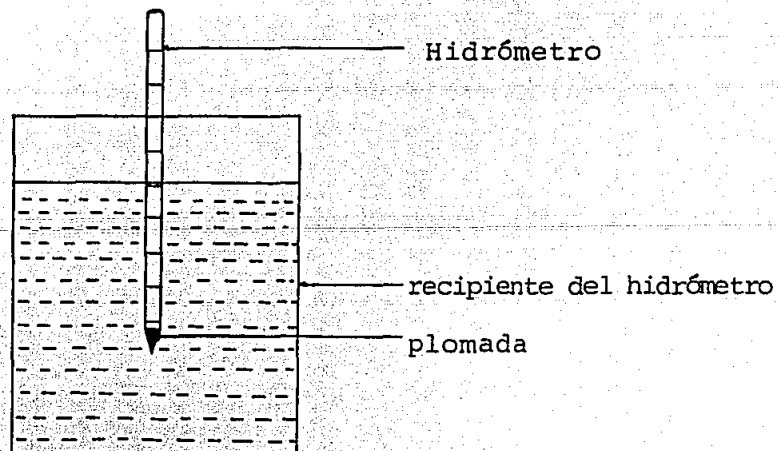


Fig. 3.1 Hidrómetro Universal

Experimento 2. Medición de la viscosidad.

Objetivo: Determinar la viscosidad de algunos líquidos en condiciones de presión y temperatura atm.

Aparatos. Viscosímetro de esfera, cronómetro e hidrómetro

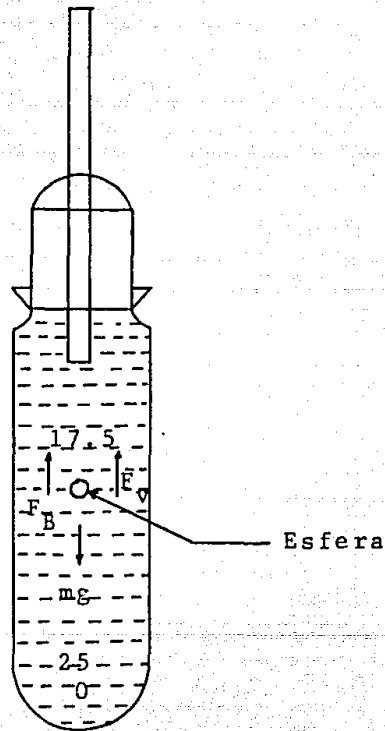


Fig. 3.2 Viscosímetro de Esfera

Observaciones. En la figura 3.2, se observa que las fuerzas que actúan en la esfera cuando ésta se esta moviendo con una velocidad uniforme, son:

- a) El peso de la esfera, "mg"
- b) La fuerza de flotación o fuerza de empuje, " F_B "
- c) La fuerza viscosa o la fuerza de resistencia al movimiento, " F_v ".

Como la velocidad es uniforme, la suma algebraica de las anteriores fuerzas es cero, es decir.

$$mg - F_B - F_v = 0 \quad (3.2)$$

El peso de la esfera es:

$$mg = \rho_s g (4/3) \pi r^3 \quad (3.3)$$

donde

ρ_s = es la densidad de la esfera

r = es el radio de la esfera

La fuerza de flotación es

$$F_B = \rho_l g (4/3) \pi r^3 \quad (3.4)$$

donde

ρ_l = es la densidad del líquido

De la ley de Stoke, la fuerza viscosa es

$$F_r = 6\pi\mu rU \quad (3.5)$$

donde

μ = es la viscosidad dinámica

U = es la velocidad media con la que cae la esfera

Sustituyendo en la ecuación (3.2), se tiene

$$\rho_s g \left(\frac{4}{3}\right)\pi r^3 - \rho_l g \left(\frac{4}{3}\right)\pi r^3 - 6\mu\pi rU = 0 \quad (3.6)$$

De la ecuación (3.6) despejando " μ " y simplificando algebráicamente, se tiene lo siguiente

$$\mu = (2/9) r^2 g (\rho_s - \rho_l) / U \quad (3.7)$$

Método:

- a) Llene los tres tubos (que se usan para conectarse al viscosímetro con diferentes líquidos), con las sustan-

cias que a continuación se mencionan, abajo del nivel de prueba, para evitar que se derramen

Los líquidos de prueba son:

- i) Aceite de motor
- ii) Glicerina
- iii) Aceite de risino

Nota: Debido a que la glicerina absorbe con suma facilidad la humedad de la atmósfera, es necesario tapar el tubo capilar (puede ser con algodón).

- b) Use tres esferas de diferentes diámetros en cada líquido. Se sugiere que los diámetros de las esferas sean: 1 mm, 1.5 mm y 2 mm.
- c) Usando el hidrómetro universal, obtenga la gravedad específica de cada líquido.

Resultados:

Presión barométrica _____ mm de Hg.

Temperatura _____ °C

Datos:

Medidas de los diámetros de las esferas: 1.0 mm, 1.5 mm y 2.0 mm

La gravedad específica del acero es 7.8

La gravedad específica de los líquidos

son:

Aceite de motor 0.89

Glicerina 1.25

Aceite de risino 0.95

La velocidad media de la esfera será:

$$U = 0.075/t \text{ (m/s)} \quad (3.8)$$

donde

t = es el tiempo de caída de la esfera (promedio)

Nota: La viscosidad dinámica se calculará por medio de la ecuación (3.7) en esta ecuación, las unidades de las variables serán: "g" en m/s^2 , "r" en m, " ρ " en Kg/m^3 y "U" en m/s.

La viscosidad cinemática se calculará como:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (3.9)$$

Fluido	Coef. de viscosidad μ en Kg/ms	μ promedio en Kg/ms.	Viscosidad cinemática ν en m^2/s
Aceite de motor			
Aceite de risino			
Glicerina			

Compárese con los valores de tablas, los resultados obtenidos experimentalmente para la glicerina y el aceite de risino.

Observe que con el aceite de risino, ya que es poco viscoso, sólo la esfera de 1.5 mm de diámetro puede ser usada, pues con una esfera más grande, el tiempo de caída es muy pequeño, y si se usa una esfera más pequeña, ésta no se visualiza al caer a través del cilindro o tubo.

Experimento 3. Observación del efecto capilar

Objetivo. Observar el efecto capilar con diferentes distancias de separación entre placas paralelas.

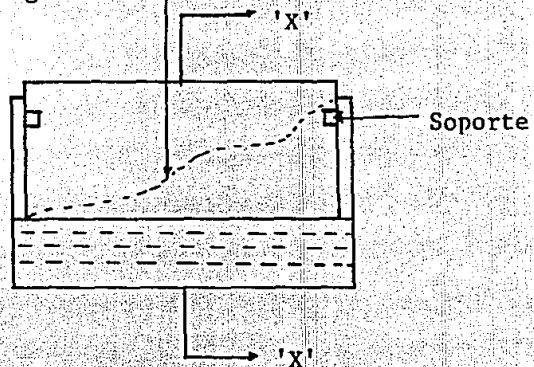
Aparatos. Aparato de placas paralelas capilares

Método:

- a) Limpie perfectamente las dos placas paralelas de vidrio y colóquelas entre el soporte del aparato.
- b) Llene el recipiente con agua
- c) Sumerga hasta el fondo del recipiente, las dos placas paralelas y colóquelas entre el soporte.
- d) Observe el efecto de la altura capilar haciendo variar la distancia de separación entre las placas.

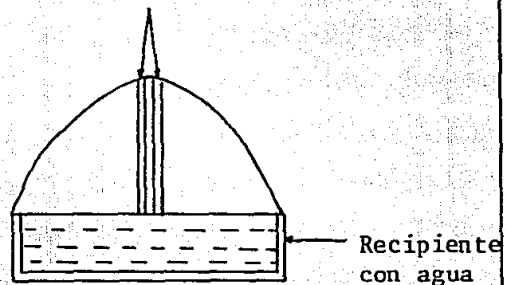
Observe que cuando la separación es pequeña, la altura del agua entre las placas es grande.

Perfil de la elevación
capilar del agua

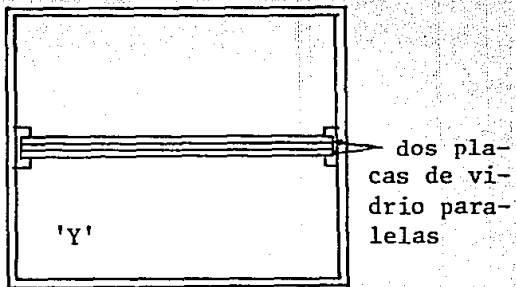


Corte de elevación

Placas paralelas



Corte de perfil



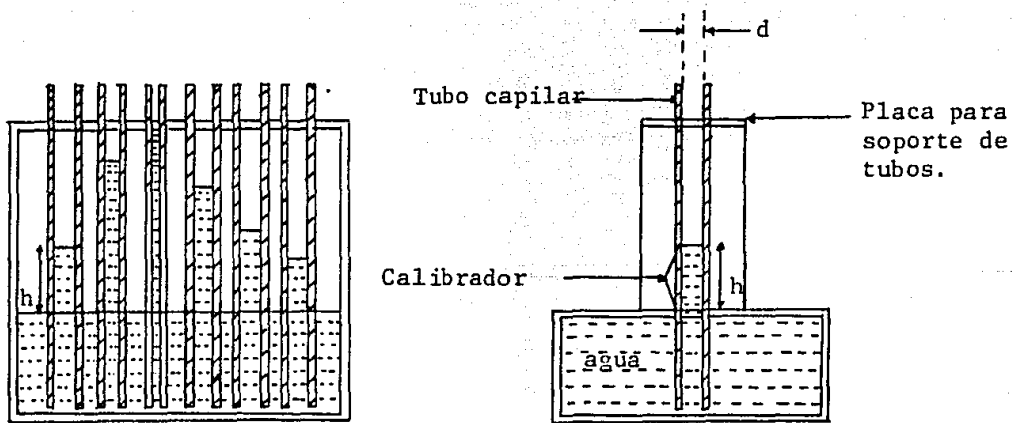
Corte de planta

Fig. 3.3 Cortes del aparato de
placas capilares

Experimento 4. Medición de la elevación capilar

Objetivo. Medir la altura capilar al usar diferentes tamaños de tubos.

Aparatos. Aparato de tubos capilares, calibrador (o divisor).



Corte Frontal

Corte de perfil

Fig. 3.4 Cortes del aparato de tubos capilares

Observaciones

La altura capilar "h", se calcula mediante la ecuación (2.21) es decir:

$$h = 4 \sigma / (\rho g d) \quad (3.10)$$

Método:

- a) Asegúrese que los tubos capilares estén perfectamente limpios .
- b) Llene el recipiente con agua hasta el nivel inferior del soporte de tubos e introduzca los mismos.
- c) Coloque un papel o cartoncillo detrás de los tubos
- d) Marque el papel hasta donde suba el nivel de agua en cada uno de los tubos.
- e) Con un calibrador tome el valor de altura capilar en cada tubo.

Resultados

Lectura	D.I. del tubo (mm)	Medición de la altura capilar h (mm)	Cálculo de la altura capilar h (mm)
1			
2			
3			

Dato: Tensión superficial del agua $\sigma = 0.074 \text{ N/m}$

Nota: Comente la diferencia entre las alturas capilares medidas y calculadas.

Experimento 5. Superficie libre de un líquido estático.

Objetivo: Demostrar que la superficie libre de un líquido estático siempre es horizontal.

Aparatos: Recipientes 1 y 2; tubos "a", "b" y "c" (ver figura 3.5)

Observaciones: De la introducción, ya que el único factor físico que interviene es la gravedad, en un líquido estático la superficie libre será siempre horizontal.

Método:

- a) Asegúrese que las válvulas V_2 , V_4 y V_5 están cerradas
- b) Abra las válvulas V_1 , V_3 y V_6
- c) Mediante la bomba de mano transfiera agua del recipiente 2 al recipiente 1, hasta que el nivel en este último recipiente, coincida con la primera línea horizontal marcada en la pared del recipiente 1.
- d) Observe que el nivel en cada uno de los tres tubos es el mismo y coincide con el nivel del recipiente 1.

- e) Repita los incisos c) y d), suministrando agua al recipiente 1 hasta que el nivel coincida con la segunda, tercera y cuarta líneas horizontales. Observe que el nivel de agua siempre es horizontal, independientemente del tamaño o forma del tubo.
- f) Extraiga agua del recipiente 1 abriendo la válvula V_4 y restablezca el nivel hasta la primera línea horizontal.
- g) Cierre la válvula V_4 y asegúrese que la válvula V_1 esté abierta.
Cierre también la válvula V_6 localizada en la parte superior del tubo "a".
- h) Mediante la bomba de mano, transfiera agua del recipiente 2 al recipiente 1. Eleve el nivel en el recipiente 1 hasta la segunda, tercera y cuarta líneas horizontales. Observe que el nivel en el tubo "a" se encuentra por abajo de los niveles de los tubos "b" y "c", mientras que en estos dos últimos tubos, sus niveles coinciden con el nivel del recipiente 1.

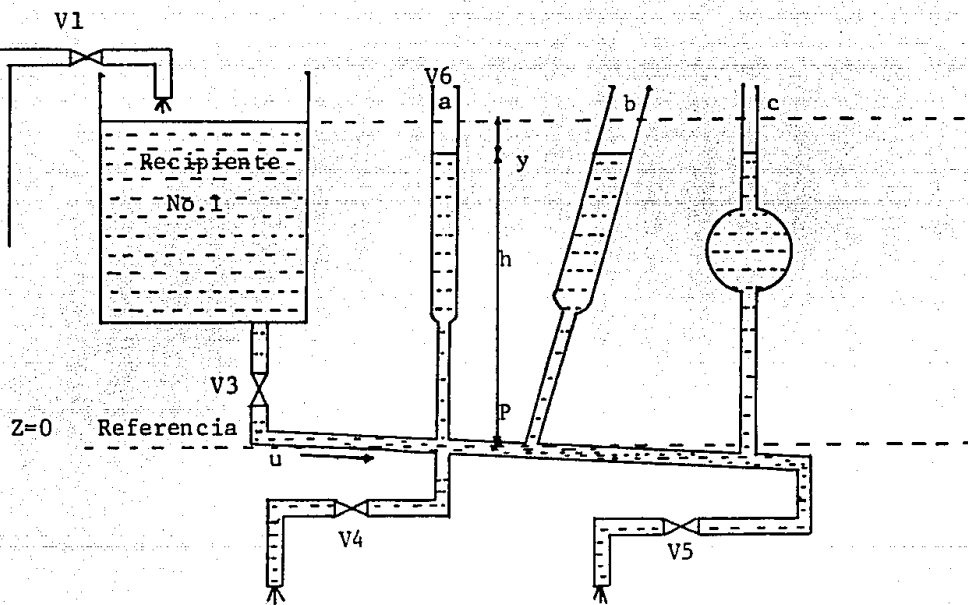


Fig. 3.5 Recipiente 1 y tubos para el análisis de superficie libre.

Experimento 6. Efecto de flujo en la superficie libre

Obejtivo: Estudiar el efecto de flujo, en la superficie libre.

Aparatos: Los mismos del experimento 5.

Observaciones: Haciendo consideraciones de energía en la superficie libre del recipiente 1, y en el punto "P", se tiene lo siguiente:

La energía potencial de la superficie libre del líquido del recipiente 1, con respecto a la referencia, es "h".

La energía en el punto "P", tiene dos componentes que son:

a) La energía de presión = $p/\rho g$ (3.11)

b) La energía cinética específica = $U^2/2g$ (3.12)

De la Ley de la conservación de la energía (La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma), se tiene lo siguiente:

$$h = P/\rho g + U^2/2g + \text{pérdidas} \quad (3.13)$$

Por otro lado, las pérdidas pueden expresarse como

$$\text{Pérdidas} = K U^2/2g \quad (3.14)$$

Sustituyendo (3.14) en (3.13) simplificando algebraicamente se tiene la siguiente expresión:

$$h = P/\rho g + (U^2/2g) (1 + K) \quad (3.15)$$

O bien, se puede expresar como

$$P/\rho g = h - (U^2/2g) (1 + K) \quad (3.16)$$

De la figura 3.5

$$h_1 = P/\rho g \quad \text{y} \quad Y = (U^2/2g) (1 + K)$$

Sustituyendo estas dos últimas expresiones en la ecuación (3.16), se llega a

$$P/\rho g = h_1 = h - Y \quad (3.17)$$

Método:

- a) Asegúrese que las válvulas V_2 , V_4 y V_5 estén cerradas.

- b) Abra las válvulas V_1 , V_3 y V_6 .
- c) Mediante la bomba de mano transfiera agua del recipiente 2 al recipiente 1, hasta que el nivel del líquido en el recipiente 1 coincida con la cuarta línea horizontal marcada sobre su pared. (Observe que con el líquido estático, los niveles del líquido dentro de los tubos "a", "b" y "c" también coinciden con el nivel del recipiente).
- d) Abra la válvula V_4 para drenar el sistema. Mediante la bomba de mano, haga que el nivel en el recipiente 1 permanezca constante.
- e) Observe que el nivel en los tubos "a", "b" y "c" se encuentra por abajo del nivel del recipiente 1. Esta pérdida de altura de la columna son pérdidas por fricción resultantes del movimiento del líquido. Los tres tubos alcanzan el mismo nivel ya que están conectados al mismo punto en el sistema sin existir flujo de líquido entre ellos.
- f) Cierre la válvula V_4 y abra la válvula V_5 para que el agua fluya por la manguera al drenaje. Mediante la bomba de mano, haga que el nivel en el recipiente 1 permanezca constante.

- g) Observe que los niveles en los tubos "a", "b" y "c", están cada vez más por abajo del nivel del recipiente 1. Esto se debe a que el movimiento del líquido a lo largo de la tubería provoca pérdidas por fricción entre los tubos. Las pérdidas entre los tubos "a" y "b" son pequeñas comparadas con las pérdidas entre los tubos "b" y "c" debido a las longitudes relativas de los tramos de tuberías.

Experimento 7. Medición de niveles de líquidos

Objetivo: Medir los cambios en los niveles de líquidos usando el calibrador de gancho.

Aparatos: Calibrador de punto y gancho. Recipiente de 600 ml.

Método:

- a) Conecte un pequeño tramo de manguera a la válvula V_2 . Cierre la válvula V_1 y abra la válvula V_2 .
- b) Mediante la bomba de mano, suministre agua al recipiente de 600 ml.
- c) Coloque el recipiente debajo del calibrador de punto y gancho, localizado en el respaldo de la mesa.
- d) Ajuste el punto del calibrador de gancho, exactamente donde rompa la superficie libre del agua, que es cuando el gancho y su imagen se tocan. El ajuste se logra aflojando el tornillo "A" y bajando el gancho hasta que se encuentre cerca de la superficie libre; posteriormente, mediante el tornillo de ajuste fino ponga en contacto el gancho y su imagen.

- e) Afloje el tornillo "B". Coloque el cero del vernier en un punto conveniente de la escala (podría ser el mismo cero), apriete el tornillo "B" y tome la lectura.
- f) Mediante la bomba de mano, suministre agua al recipiente para elevar el nivel de este líquido.
- g) Ajuste nuevamente el calibrador de gancho exactamente en donde rompa la nueva superficie libre, de la manera descrita en el inciso d).
- h) Tome la nueva lectura de la escala
- i) Cambie el punto por el gancho y repita el ejercicio

Resultados:

$$\begin{aligned} \text{Incremento de profundidad} &= \text{Lectura final de la escala} \\ &- \text{Lectura inicial de la escala} \end{aligned}$$

Nota: Este tipo de aparato de medición de profundidades, puede detectar cambios de niveles de 0.1 mm.

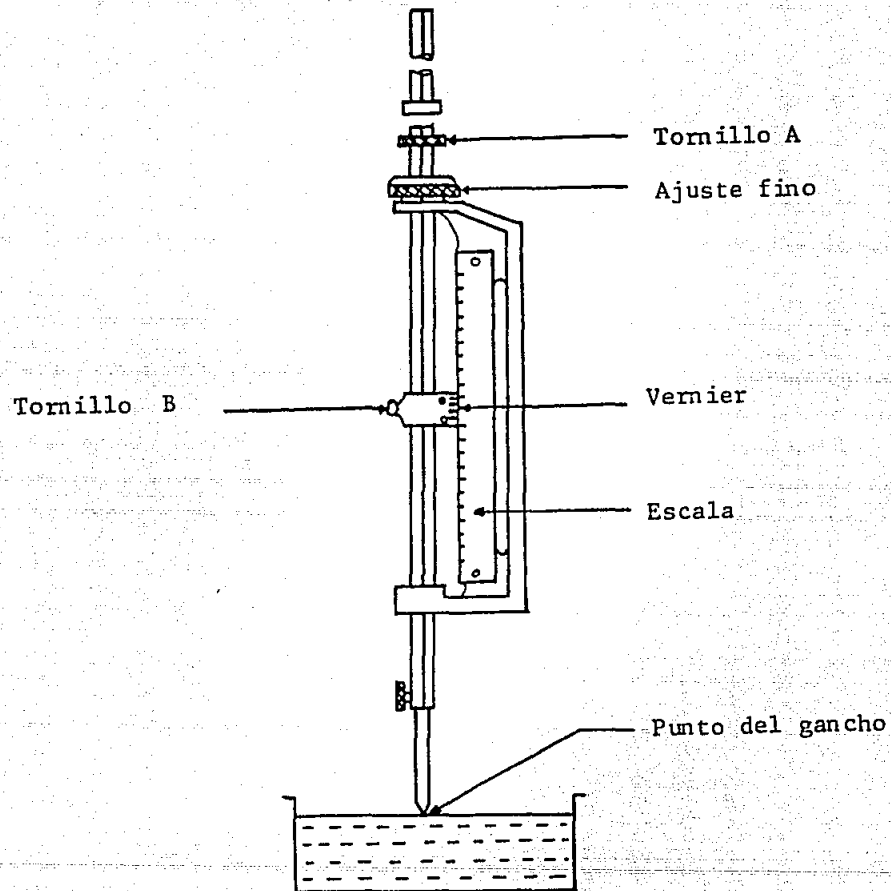


Fig. 3.6 Calibrador de punto y gancho

Experimento 8. Magnitud de la presión de líquidos

Objetivo: Demostrar que la magnitud de la presión de un líquido sólo depende de la profundidad.

Aparatos: Aparato de Pascal y Básculas (ver fig. 3.7)

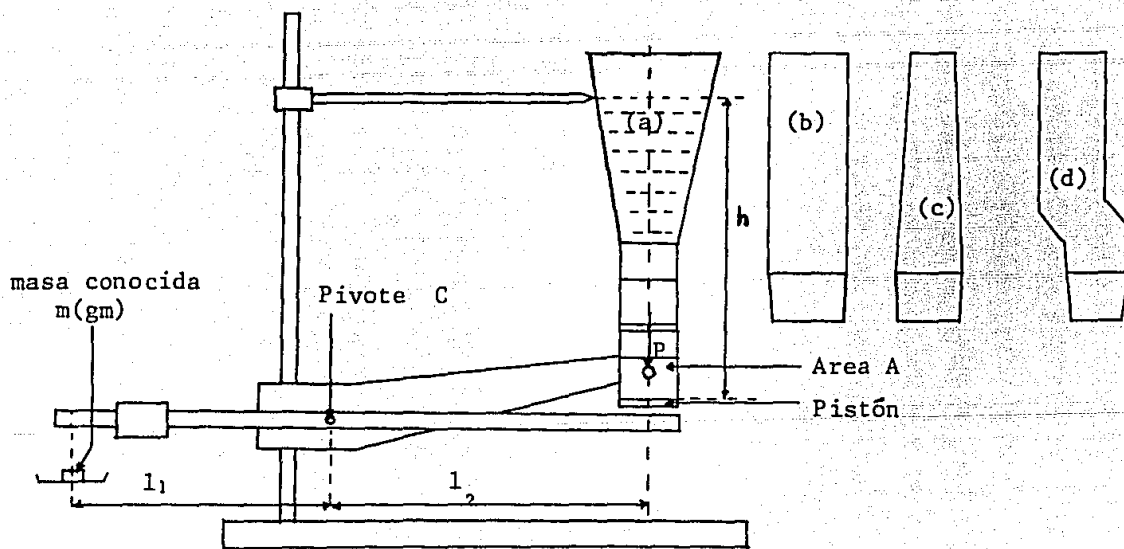


Fig. 3.7 Aparato de Pascal

Observaciones: La fuerza provocada por la presión total del agua sobre el pistón será

$$P = \rho l g A h \quad (3.18)$$

La masa colocada en la charola es "m"

Cuando la fuerza provocada por la presión total sobre el pistón ejerce un momento con respecto al pivote "c", igual al momento que ejerce el peso de la masa "m" con respecto a dicho pivote, el brazo giratorio estará perfectamente horizontal, indicando que el aparato esta balanceado y se cumplirá la siguiente igualdad:

$$m g \cdot L_1 = P l g A h \cdot L_2 \quad (3.19)$$

Por otro lado, la presión es

$$p = P/A = \rho l g h \quad (3.20)$$

Cuando haya encontrado el punto de equilibrio del brazo utilizando cualquier tubo, digamos el tubo "a", marque sobre el tubo la altura de la columna de líquido. Posteriormente, utilice los tubos "b", "c" y "d", con la misma altura del nivel del líquido que el tubo "a"; como la presión en un líquido en reposo varía sólo con la altura, observará que con

cualquier tubo, el brazo alcanzará una posición perfectamente horizontal, es decir, en equilibrio, demostrándose que la ecuación (3.19) es válida.

Método:

- a) Coloque el aparato sobre la mesa.
- b) Coloque una masa conocida sobre la charola, por ejemplo 20 g.
- c) Coloque el tubo "a" en el aparato y suministre agua dentro de él hasta alcanzar el punto de equilibrio del brazo giratorio (es decir hasta que el brazo se encuentre perfectamente horizontal)
- d) Marque el nivel de agua en el tubo "a" con el indicador
- e) Repita los incisos c) y d) con los tubos "b", "c" y "d" y observe que el brazo se mantiene en equilibrio cuando los niveles en estos tubos coinciden con el nivel en el tubo "a".

Nota: El operador debe cuidar que el pistón no se pegue; el pistón debe moverse libremente en el cilindro.

Experimento 9. Centro de presión en una superficie plana

Objetivo: Determinar la posición de el centro de presión de la cara rectangular frontal de el toroide.

Aparatos: Aparato de presión hidrostática

Observaciones: Para el aparato de Presión Hidrostática, se emplearán las siguientes fórmulas matemáticas

$$P = \rho ghA$$

$$Y_c - \bar{Y} = I_G / A\bar{Y} \quad (3.21)$$

Pueden aplicarse también las expresiones dadas para el momento de la fuerza hidrostática con respecto al pivote.

Para una inmersión parcial (ver figura 3.9).

$$\bar{h} = Y/2 \quad ; \quad A = bY$$

$$P = (1/2) g \rho by^2$$

$$Y_c - Y = (bY^3/12)/(bY^2/2) = Y/6 \quad (3.22)$$

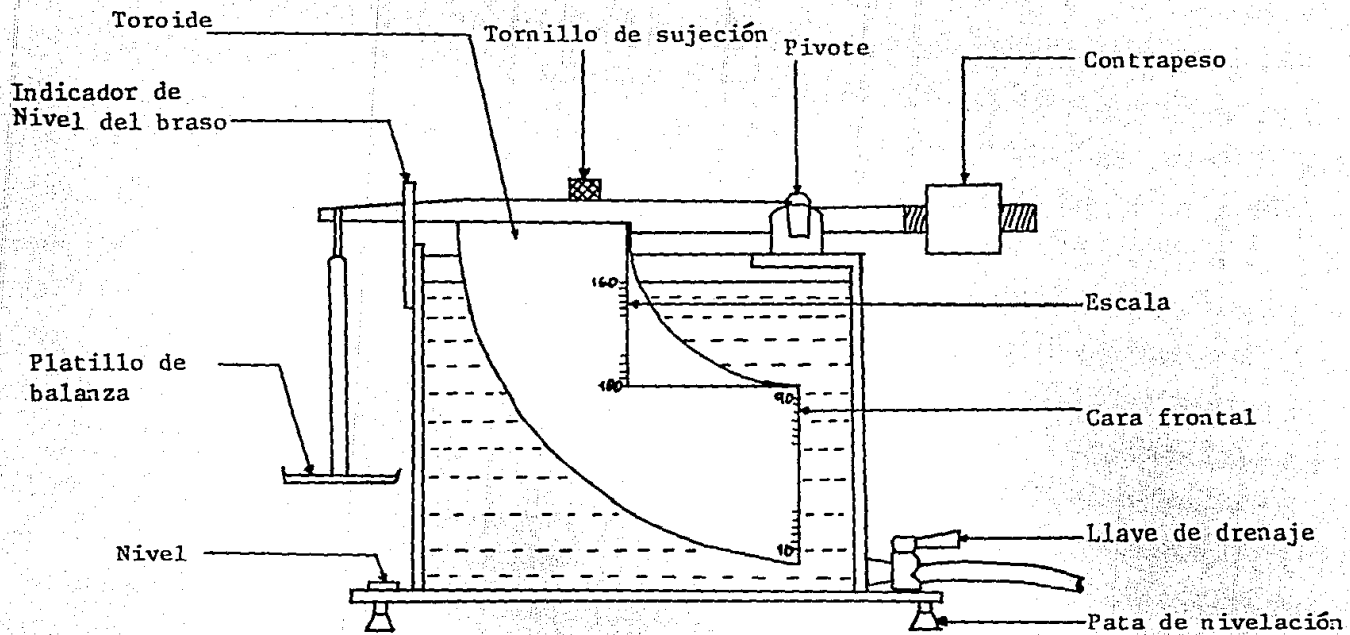


Fig. 3.8 Aparato de presión hidrostática

El momento "M" de "P" con respecto al pivote esta dado por

$$M = (1/2) \rho b \bar{Y}^2 (a + d - (Y/2) + (Y/6)) \quad (3.23)$$

O bien

$$M = (1/2) \rho b \bar{Y}^2 (a + d) - (Y/3) \quad (3.24)$$

Pero también se cumple la siguiente igualdad

$$M = gmL \quad (3.25)$$

donde

m = masa colocada en el platillo de la balanza

L = distancia desde el pivote a la varilla que sujeta
al platillo de la balanza.

Sustituyendo la ecuación (3.25) en la ecuación (3.24) y simplificando algebraicamente se tiene la siguiente ecuación.

$$mL = (1/2) \rho b \bar{Y}^2 (a + d - (Y/3)) \quad (3.26)$$

Para una inmersión completa (ver figura 3.10)

$$P = g \rho \bar{Y} b d \quad (3.27)$$

$$y_c - \bar{Y} = (bd^3/12)/(bd\bar{Y}) = d^2/12\bar{Y} \quad (3.28)$$

$$M = \rho g \bar{Y} b d (a + (d/2) + (d^2/(12\bar{Y}))) \quad (3.29)$$

$$mL = \rho \bar{Y} b d (a + (d/2) + (d^2/(12\bar{Y}))) \quad (3.30)$$

donde

$$\bar{Y} = y - (d/2) \quad (3.31)$$

Método:

- a) Asegure el toroide al brazo de la balanza mediante el tornillo central.
- b) Mida las dimensiones "a", "b" y "d", y la distancia "L" de el pivote a la varilla que sostiene el platillo de la balanza.
- c) Coloque un tramo de manguera a la llave de drenaje del recipiente y su extremo libre al drenaje. Coloque otro tramo de manguera en la válvula V_2 y su extremo libre en la apertura triangular.

Nivele el recipiente usando la pata ajustable junto con el indicador de nivel.

- d) Ajuste el contrapeso hasta lograr que el brazo de la balanza se encuentre horizontal (observe las marcas que se tienen para este fin).
- e) Abra la válvula V_2 y mediante la bomba manual suministre agua del tanque 2 al recipiente del toroide, hasta que el nivel del agua alcance la parte inferior del toroide.

Cierre la válvula V_2

- f) Coloque una masa conocida en el platillo de la balanza

Abra la válvula V_2 y, mediante la bomba de mano, suministre agua al recipiente hasta que el brazo de balanza alcance su posición horizontal.

Observe el nivel de agua del recipiente.

Para un ajuste fino del nivel de agua del recipiente debe drenarse lentamente el recipiente utilizando la válvula de drenaje.

- g) Repita el inciso f) para diferentes masas

- h) Repita las lecturas retirando las masas colocadas en el platillo de la balanza.

Cálculo y gráficas:

Para $Y < d$ (Inmersión parcial)

Tabule m/Y^2 y grafique m/Y^2 contra Y

De la ecuación (3.26)

$$m/Y^2 = ((\rho b)/(2L))(a+d - (Y/3)) \quad (3.32)$$

La pendiente de la gráfica debe ser $-\rho b/(6L)$

La intercepción con el eje vertical será $\rho b(a + d)/(6L)$

Para $Y > d$ (Inmersión total) :

Tabule $\bar{Y} = Y - d/2$, m/\bar{Y} y L/\bar{Y}

Grafique m/\bar{Y} contra L/\bar{Y}

De la ecuación (3.30), la pendiente de esta gráfica es $\rho b d^3/12L$.

La intercepción con el eje vertical será $(\rho b d / L)(a + d / 2)$.

Conclusiones:

De las razones necesarias, si existe discrepancia entre los valores medidos y los calculados.

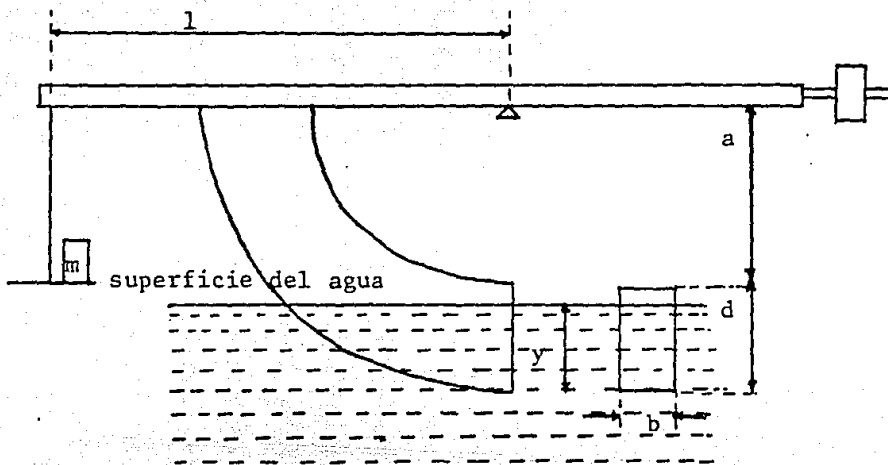


Fig. 3.9 Inmersión parcial de la cara frontal

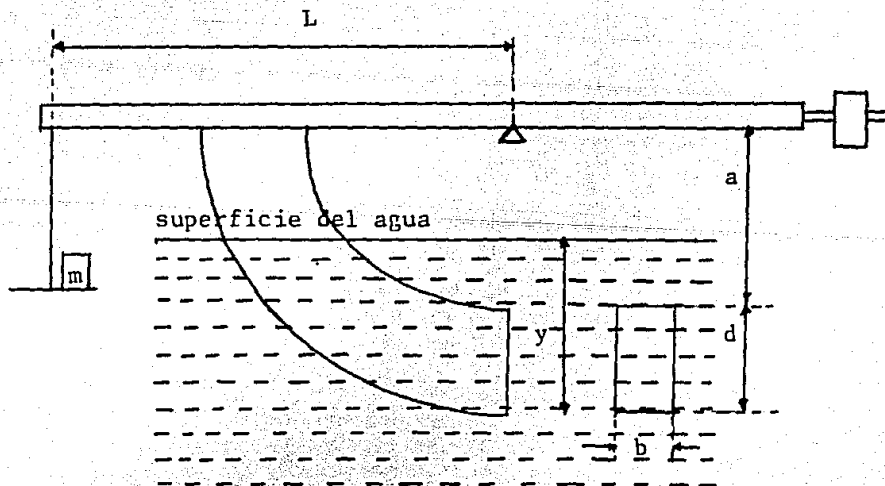


Fig. 3.10 Inmersión total de la cara frontal

Experimento 10. Obtención de una lectura directa de la presión atmosférica empleando el barómetro de mercurio.

Objetivo: Leer la presión atmosférica o barométrica

Aparatos: Barómetro de mercurio para obtención de lecturas directas

Método:

- a) Leer la altura del nivel de la columna de mercurio que se forma en el miembro más largo del tubo en "U". Dicha lectura se obtiene de la escala graduada en el tubo.
- b) Leer la temperatura del cuarto o local

Resultados:

Temperatura del local _____ °C

Presión barométrica _____ mm de mercurio

Nota: Comente sobre la precisión que tiene este tipo de aparato.

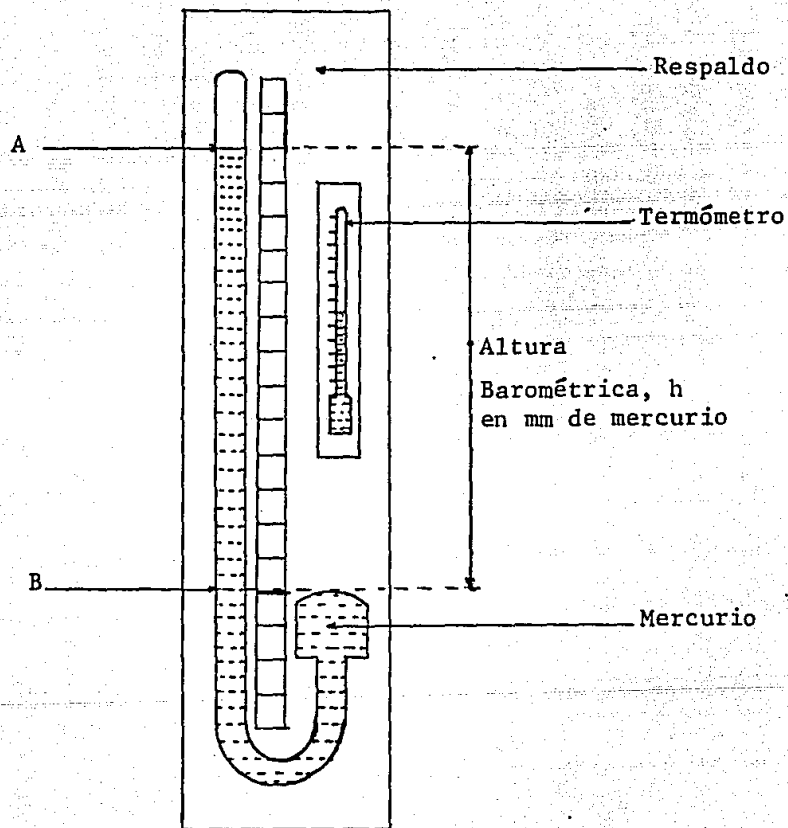


Fig. 3.11 Barómetro de Mercurio

Experimento 11. Calibración del medidor de presión tipo Bourdon.

Objetivo: Calibrar un medidor de presión tipo Bourdon usando un aparato calibrador de pesos muertos.

Aparatos: Calibrador de pesos muertos y recipiente de 600 mililitros

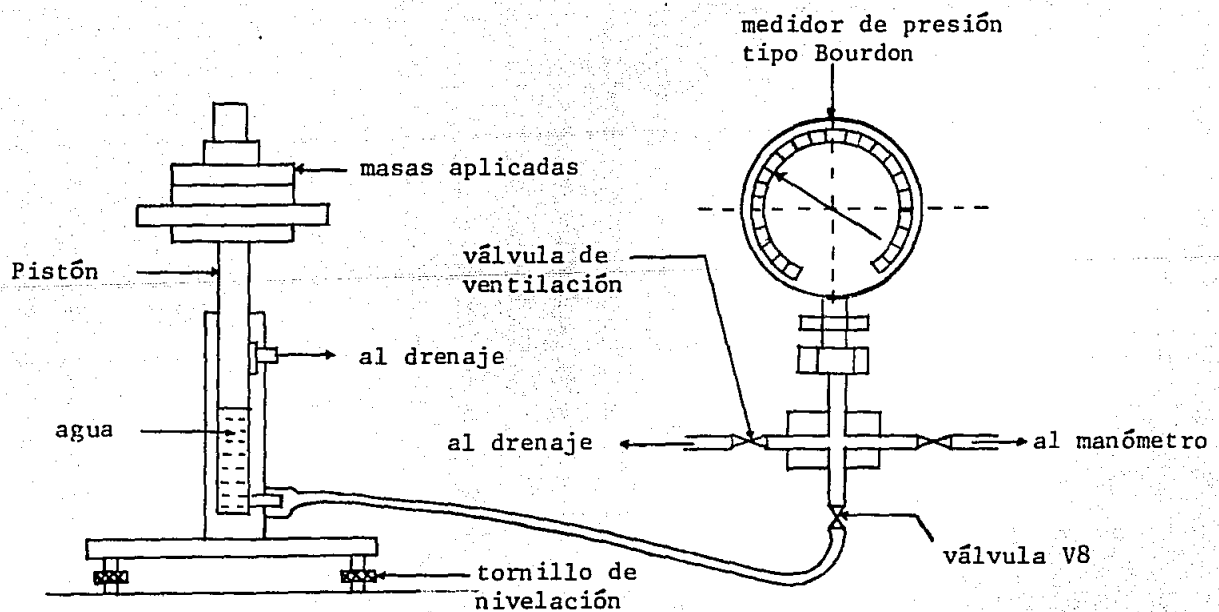


Fig. 3.12 Calibración del medidor de presión tipo Bourdon a través del calibrador de pesos muertos.

Método:

- a) Cierre la válvula V_3 y nivele los aparatos
- b) Llene el cilindro del calibrador de pesos muertos con agua e introduzca en el interior de dicho cilindro el pistón del calibrador de pesos muertos.
- c) Abra la válvula V_8 . Abra la válvula de ventilación para extraer el aire del sistema.
- d) Cierre la válvula de ventilación
- e) Sin colocar masas sobre el pistón, tome la lectura del manómetro
- f) Coloque sobre el pistón incrementos de masas de medio kilogramo y anote la lectura del medidor de presión para cada masa aplicada.
- g) Retire las masas del pistón en decrementos de medio kilogramo y anote las lecturas del medidor de presión para cada masa retirada.
- h) Cuando la prueba haya finalizado, retire y seque el pistón, engrase el pistón con vaselina y posteriormen-

te guarde el pistón en un tubo de cartón o en una caja de madera.

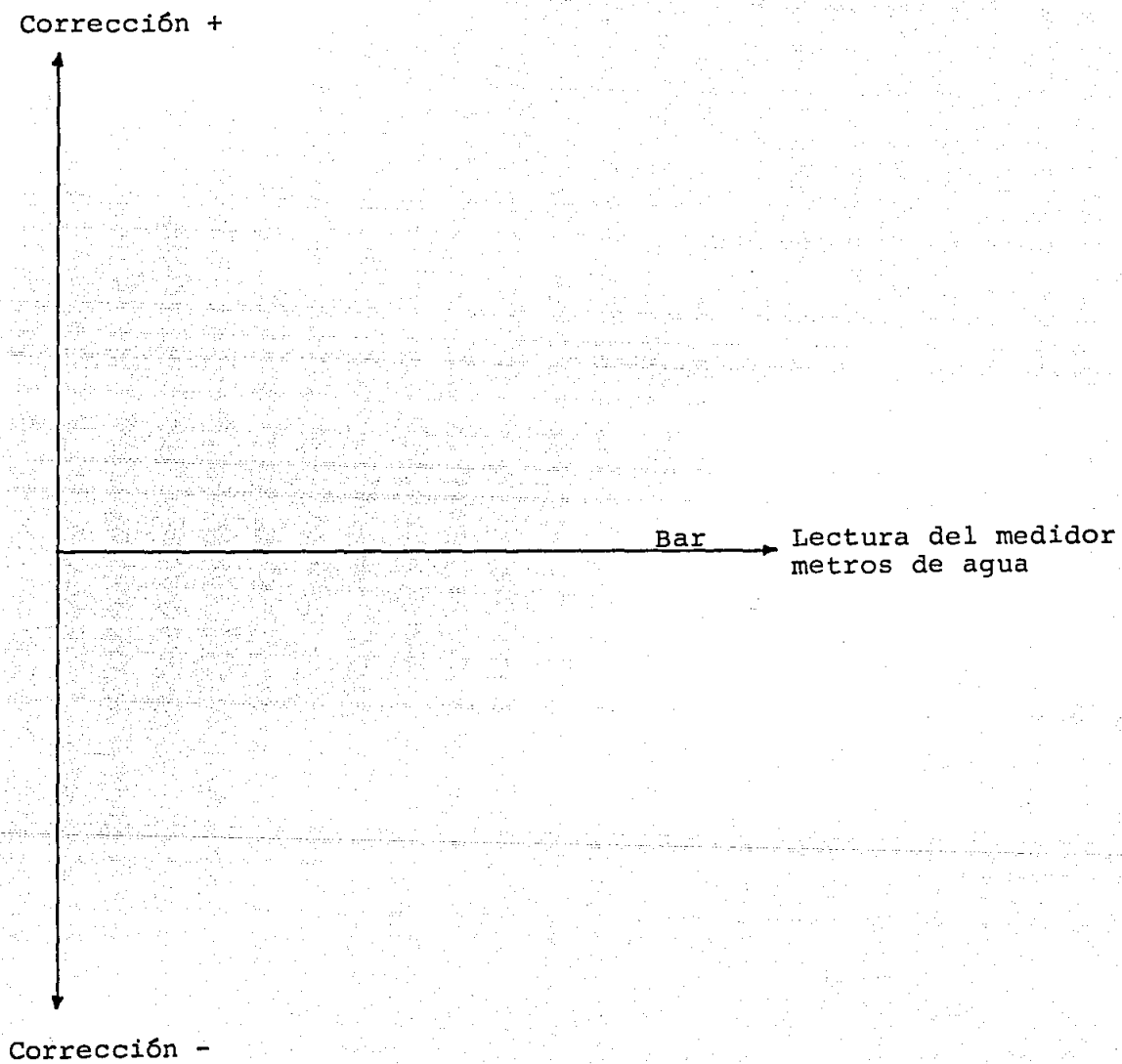
Una vez finalizada la prueba extraiga el agua del cilindro.

Datos: Masa del pistón = .5 Kg
 área nominal del pistón = $2.45 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
 1 kg. masa = $(1 \times 9.81) / (2.45 \times 10^{-4})$
 = $4 \times 10^4 \text{ N/m}^2 = 0.4 \text{ bar}$
 = 4.08 m de agua
 presión = fuerza / Area = mg/A

Resultados:

Resultado del calibrador de pesos muertos.			Lectura del medidor de presión al incrementar la carga sobre el pistón		Lectura del medidor de presión al decrementar la carga sobre el pistón	
masa aplicada (en Kg)	bar	m. de agua	bar	m. de agua	bar	m. de agua
0.5						
1.0						
1.5						
2.0						
2.5						

Dibuje la siguiente gráfica



Experimento 12. Uso del manómetro de mercurio de tubo en "U" para medir la presión del agua

Objetivo: Usar el manómetro de mercurio para medir la presión del agua en un punto. Comparar las lecturas que se pueden obtener con un manómetro de mercurio con las que se pueden obtener con un medidor de presión tipo Bourdon.

Aparatos: Calibrador de pesos muertos, manómetro de mercurio y medidor de presión tipo Bourdon (ver figura 3.13)

Método:

- a) Cierre la válvula V_{11} . Abra la válvula V_{10}
- b) Nivele el calibrador de pesos muertos
- c) Llene el cilindro del calibrador de pesos muertos con agua e introduzca el pistón en el interior del cilindro del calibrador de pesos muertos.
- d) Abra la válvula V_8 . Abra la válvula de ventilación para extraer el aire del sistema. Cierre la válvula de ventilación.

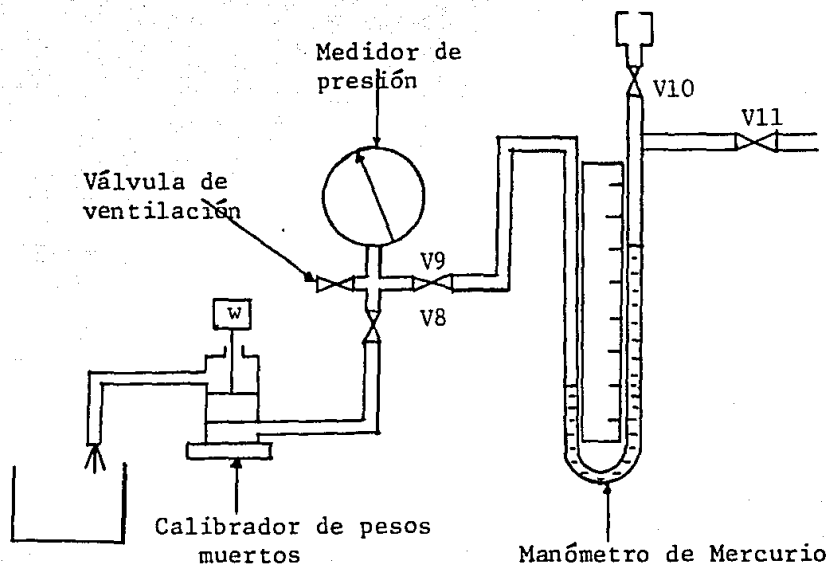


Fig. 3.13 Diagrama de instalación para medir la presión del agua.

- e) Abra la válvula V_9
- f) Llene nuevamente el cilindro del calibrador de pesos muertos con agua. Únicamente con el peso del pistón como carga, lea la diferencia de altura entre los ni-

veles de los miembros del tubo del manómetro y tome la lectura que proporciona el medidor de presión tipo Bourdon.

Gire de vez en cuando el pistón para evitar que se pegue.

- g) Coloque sobre el pistón una masa de medio kilogramo y tome la lectura de la diferencia de niveles entre los miembros del tubo del manómetro, así como la lectura que proporciona el medidor de presión tipo Bourdon.
- h) Coloque sobre el pistón del calibrador de pesos muertos una masa de un kilogramo y tome la lectura de la diferencia de niveles entre los dos miembros del tubo del manómetro, así como la lectura que proporciona el medidor de presión tipo Bourdon.

Nota. No coloque masas superiores a un kilogramo sobre el pistón, ya que si esto sucede, traería como consecuencia pé
rdidas de mercurio del manómetro.

- i) Cuando haya terminado con el experimento, retire el pis
tón, séquelo y engráselo con vaselina. Extraiga el agua del cilindro.

Experimento 13. Uso del manómetro de mercurio de tubo en "U" para medir la presión en aire.

Objetivo: Usar el manómetro de mercurio para determinar la presión del aire

Aparatos: Bomba de aire y manómetro de mercurio (ver figura 3.14)

Método:

- a) Cierre la válvula V_1
- b) Conecte la bomba de aire a la válvula del manómetro
- c) Haga funcionar la bomba de mano y observe el cambio en los niveles de los dos miembros del tubo del manómetro.
- d) Desconecte la bomba manual de aire del manómetro y observe que los niveles de los dos miembros del tubo del manómetro regresan a su posición inicial.

Nota. No exceda los niveles máximos y mínimos de los dos miembros del tubo del manómetro.

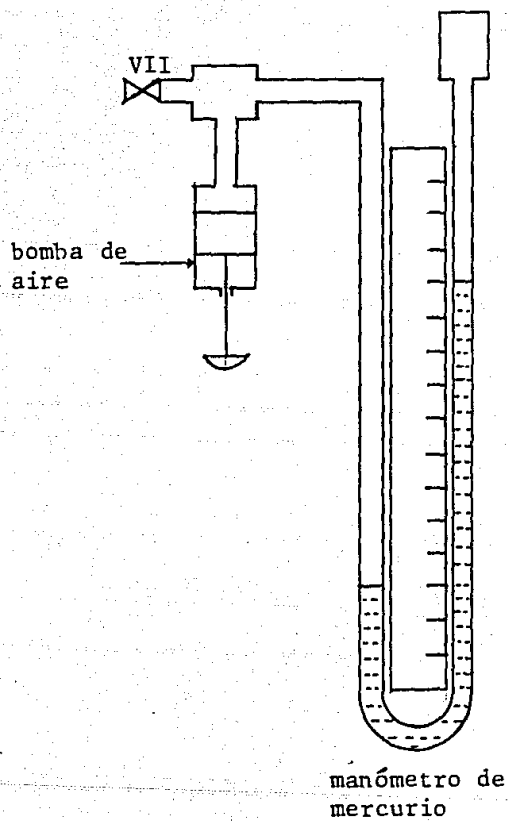


Fig. 3.14 Diagrama de instalación para medir la presión del aire.

Experimento 14. Uso del manómetro de mercurio de tubo en "U" para determinar la presión diferencial.

Objetivo: Usar el manómetro de mercurio de tubo en "U" para determinar y comparar la diferencia de presiones en un sistema de agua-aire.

Aparatos: Calibrador de presión de pesos muertos, dos manómetros de mercurio, bomba de aire y medidor de presión tipo Bourdon (ver figura 3.15)

Método:

- a) Cierre la válvula V_{11} . Abra la válvula V_{10}
- b) Nivele el calibrador de pesos muertos
- c) Llene el cilindro del calibrador de pesos muertos con agua e introduzca en el interior del cilindro el pistón del calibrador de pesos muertos. Observe los niveles de los dos miembros del tubo del manómetro.
- d) Abra la válvula V_8 . Abra la válvula de ventilación para extraer el aire del sistema. Cierre la válvula de ventilación.

- e) Abra la válvula V_9 .
- f) Llene nuevamente el cilindro del calibrador con agua e introduzca en el interior del cilindro el pistón del calibrador de pesos muertos, observe los niveles de los dos miembros del tubo del manómetro.
- g) Cierre la válvula V_{10} . Abra la válvula V_{11} y conecte la bomba de aire a esta válvula y a un segundo manómetro de mercurio de tubo en "U".
- h) Haga funcionar la bomba de aire hasta que los niveles en los dos miembros del tubo del primer manómetro regresen a su posición original. Observe las lecturas que proporciona el medidor de Bourdon y los niveles de los dos miembros del tubo del segundo manómetro de mercurio de tubo en "U".
- i) Repita el inciso g) colocando una masa de medio kilogramo sobre el pistón del calibrador de pesos muertos.
- j) Repita el inciso g) colocando una masa de un kilogramo sobre el pistón del calibrador de pesos muertos.
- k) Cuando el experimento haya finalizado, retire el pistón,

séquelo y engráselo con vaselina. Extraiga el agua del cilindro.

Nota. Durante la operación del sistema, el pistón deberá permanecer girando para evitar que se quede pegado. El pistón no deberá permanecer en el interior del cilindro mientras no se este trabajando con el sistema.

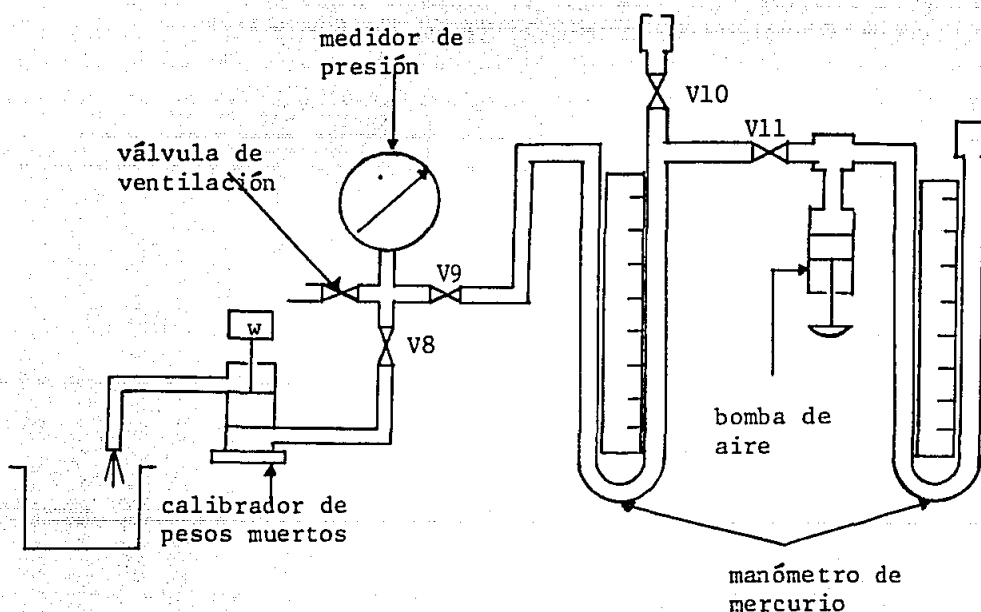


Fig. 3.15 Diagrama de instalación para determinar la presión diferencial en un sistema agua-aire.

Experimento 15. Principio de Arquímedes

Objetivo: Verificar el principio de Arquímedes

Aparatos: Balanza de palanca con vaso de desplazamiento, cubeta y cilindro.

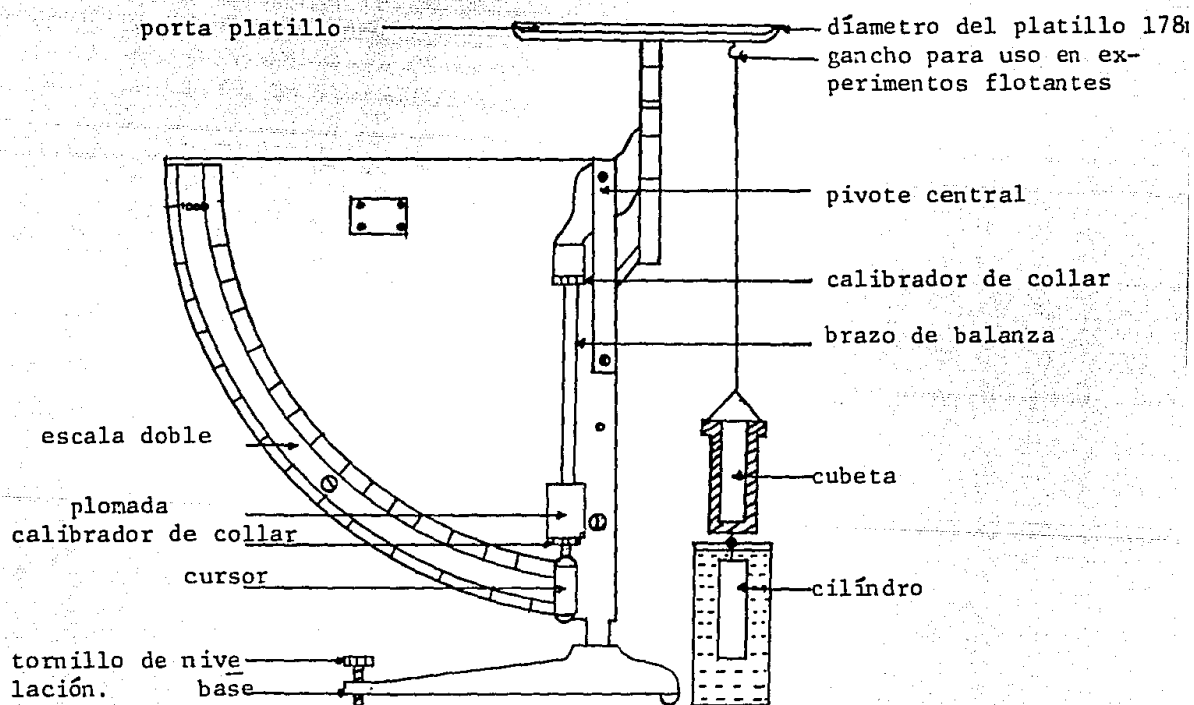


Fig. 3.16 Balanza de palanca

Observaciones: De la ecuación (2.63), el principio de Arquímedes señala que cuando un cuerpo está total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo experimentará un esfuerzo igual al peso de la masa de líquido desalojado por el mismo.

La masa de la cubeta y del cilindro en aire será

$$m_1 \text{ {gm}}$$

La masa de la cubeta con el cilindro inmerso en líquido será

$$m_2 \text{ {gm}}$$

Por lo tanto el empuje sobre el cuerpo será

$$\text{Empuje} = (g(m_1 - m_2)/10^3) \text{ {N}}$$

$$\text{masa de la cubeta} = m_3 \text{ {gm}}$$

$$\text{masa de la cubeta llena con agua} = m_4 \text{ {gm}}$$

$$\text{masa del agua} = (m_4 - m_3) \text{ {gm}}$$

$$\text{peso de la masa de agua} = (g(m_4 - m_3)/10^3) \text{ {N}}$$

Del principio de Arquímedes, el empuje sobre el cuerpo es igual al peso del agua desalojado por el cilindro, es decir

$$(g(m_1 - m_2)/10^3) = (g(m_4 - m_3)/10^3)$$

Simplificando algebraicamente esta igualdad obtenemos que

$$m_1 - m_2 = m_4 - m_3$$

Método:

- a) Suspenda la cubeta y el cilindro por un hilo o alambre fino del gancho localizado abajo del porta platillo, tal como se muestra en la figura 3.16.
- b) Fije la balanza para operar con un rango de 0-0.25 Kg., anote las masas de la cubeta y del cilindro.
- c) Sumerga completamente el cilindro en un recipiente con agua y anote de nuevo las masas.
- d) Retire el cilindro y el recipiente con agua y mida la masa de la cubeta sola, es decir sin agua.
- e) Llene completamente la cubeta con agua y mida su masa.

Resultados:

Masa de la cubeta con el cilindro, m_1 m_1 _____ (gm)Masa de la cubeta con el cilindro sumergido en
agua, m_2 m_2 _____ (gm)Masa de la cubeta, m_3 m_3 _____ (gm)Masa de la cubeta llena con agua, m_4 m_4 _____ (gm)

Deberá cumplirse que

$$m_1 - m_2 = m_4 - m_3$$

Experimento 16. Determinación de la altura metacéntrica

Objetivo: Determinar la altura metacéntrica del modelo del barco que se muestra en la figura 3.17.

Aparatos: Aparato de altura metacéntrica

Observaciones: De la ecuación (2.101), tenemos que

$$\overline{GM} = (\Delta m/m)(x \cos \theta / \tan \theta)$$

donde

\overline{GM} = altura metacéntrica en unidades de milímetros

m = masa desplazable en unidades de kilogramos

θ = ángulo de inclinación en grados

De la ecuación (2.92)

$$\overline{BM} = I/v$$

donde

I = segundo momento de área del plano de agua con respecto a los ejes longitudinales.

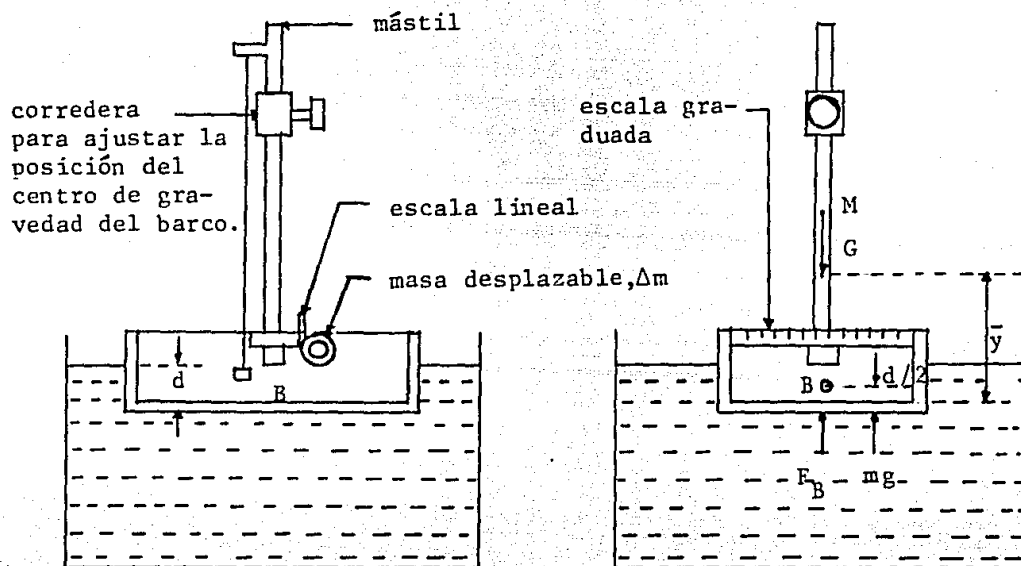


Fig. 3.17 Aparato de altura metacéntrica

$$I = L.b^3/12$$

- v = volumen del agua desalojada
- \overline{BM} = distancia entre el centro de flotación y el metacentro

De la ecuación (2.93)

$$\overline{GM} = \overline{BM} - \overline{BG}$$

Método:

- a) Encuentre el peso de la masa desplazable
- b) Ensamble el modelo con la corredera colocada en la parte superior del mástil. Obtenga el peso del modelo armado.
- c) Determine la posición del centro de gravedad del modelo obteniendo el punto de balance (o de equilibrio) del modelo; esto se logra suspendiendo el modelo de un punto del mismo mediante una cuerda delgada.

- d) Llene el recipiente en el que flotará el modelo
- e) Coloque el modelo con su masa desplazable en la posición central, en el líquido.
- f) Desplace la masa hacia la derecha del centro del modelo en incrementos de distancia de 10 mm., hasta cubrir totalmente la escala graduada. Observe el desplazamiento angular del péndulo para cada posición de la masa desplazable.
- g) Repita el inciso f) desplazando la masa a la izquierda del centro del modelo.
- h) Repita los incisos c), e), f) y g) para diferentes posiciones de la corredera, es decir diferentes centros de gravedad.

Resultados:

Dimensiones del modelo: longitud = 350 mm., ancho = 200 mm.,
profundidad = 73 mm.

masa desplazable, $\Delta m =$ _____ Kg

Grafique " \overline{GM} " contra " θ " y encuentre el valor de " \overline{GM} " para $\theta = 0^\circ$

Calcule: $\overline{BM} = I/v = L \cdot b^3 / (12 v)$

De la ecuación (2.93)

$$\overline{GM} = \overline{BM} - \overline{BG}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (2.93), tenemos

$$\overline{GM} = (I/v) - (Y - (d/2)) \quad (3.33)$$

Nota. Las unidades de la longitud "L" y el ancho "b", deberán estar en milímetros y las unidades del volumen "v", deben estar en metros cúbicos.

Conclusiones:

¿ Depende la posición del metacentro de la posición del centro de gravedad?

¿ Varía la altura metacéntrica con el ángulo de inclinación " θ "?

3.2 Diseño del Equipo

DESCRIPCION DE LA MESA PARA PRUEBAS HIDROSTATICAS

El equipo deberá estar montado sobre un banco de metal y debe constar de componentes fijas y componentes móviles.

Las componentes fijas serán:

- 1) Tanque de polietileno situado en la parte inferior del banco; sirve para almacenar el agua.
- 2) Bomba de desplazamiento positivo, localizada en la parte superior del banco; para transferir agua desde el tanque de almacenamiento a un tanque de superficie abierta.

3) Tanque de superficie abierta.

El resto del equipo consistirá de piezas individuales las cuales constituyen las componentes móviles y pueden usarse libremente o asegurarse a la pared trasera del banco, de acuerdo a las pruebas por realizar.

El diagrama de Instalación se presenta en la página 130.

El plano general y el diagrama sistemático se presentan en la página 132.

Los planos de las tres visitas del banco general y de todos cada uno de los accesorios se presentan en el Apéndice de esta tesis.

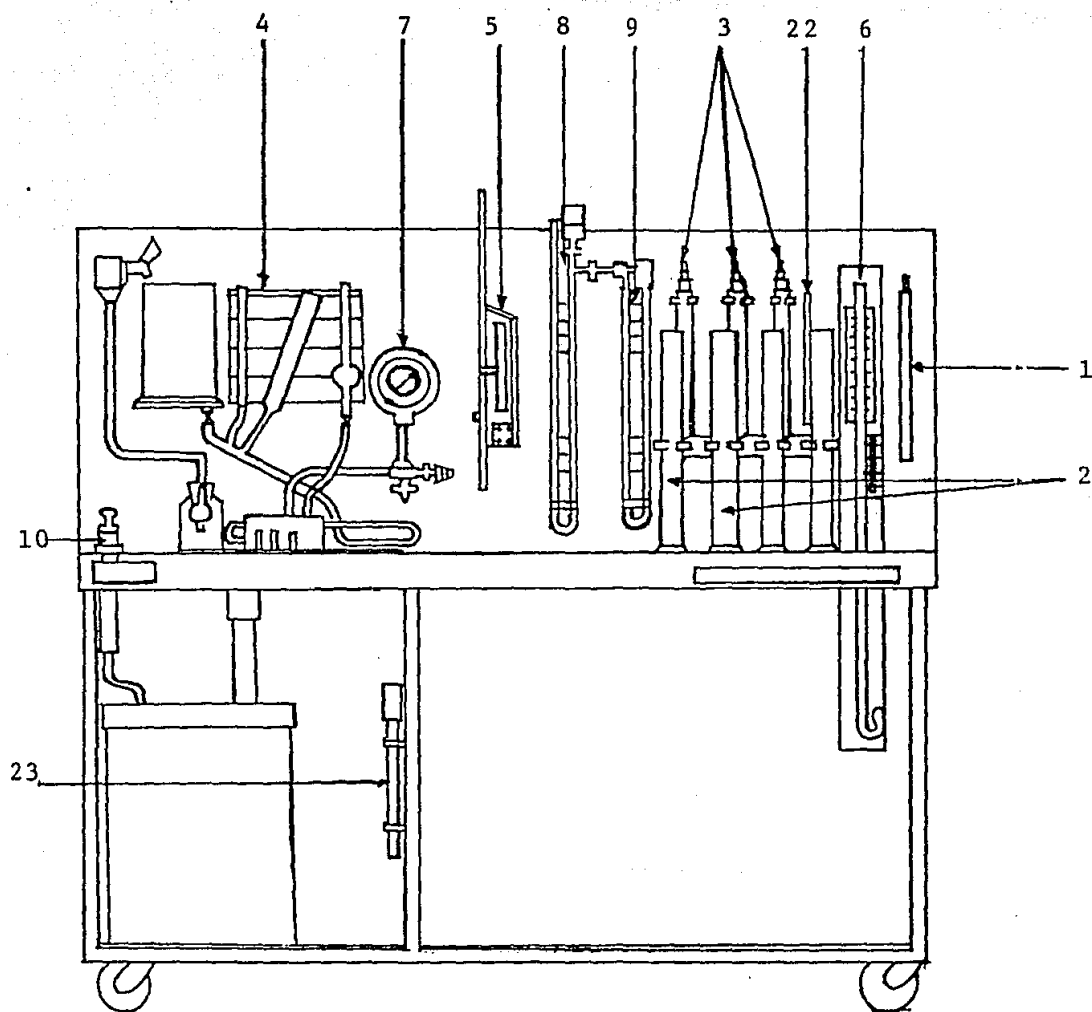


Fig. 3.18 Mesa de Pruebas hidrostáticas.

LISTA DE COMPONENTES DE LA MESA PARA PRUEBAS HIDROSTATICAS

- 1.- Hidrómetro Universal
- 2.- Vasos de hidrómetro
- 3.- Viscosímetro de esfera
- 4.- Tubos de superficie libre
- 5.- Medidor de llave y punto
- 6.- Barómetro de mercurio
- 7.- Medidor de Bourdon
- 8.- Manómetro de mercurio
- 9.- Bomba de mano
- 10.- Calibrador de pesos muertos (accesorio)
- 11.- Aparato de presión hidrostática (accesorio)
- 12.- Aparato de Pascal (accesorio)
- 13.- Recipiente de 600 ml. (accesorio)
- 14.- Cronómetro (accesorio)
- 15.- Aparato de placas paralelas (accesorio)
- 16.- Aparato de tubos capilares (accesorio)
- 17.- Pesas (accesorio)
- 18.- Báscula de nivel con vaso, cubeta y cilindro (accesorio)
- 19.- Aparato de altura metácentrica (accesorio)
- 20.- Cilindro medidor (accesorio)
- 21.- Termómetro (accesorio)
- 22.- Bomba de aire

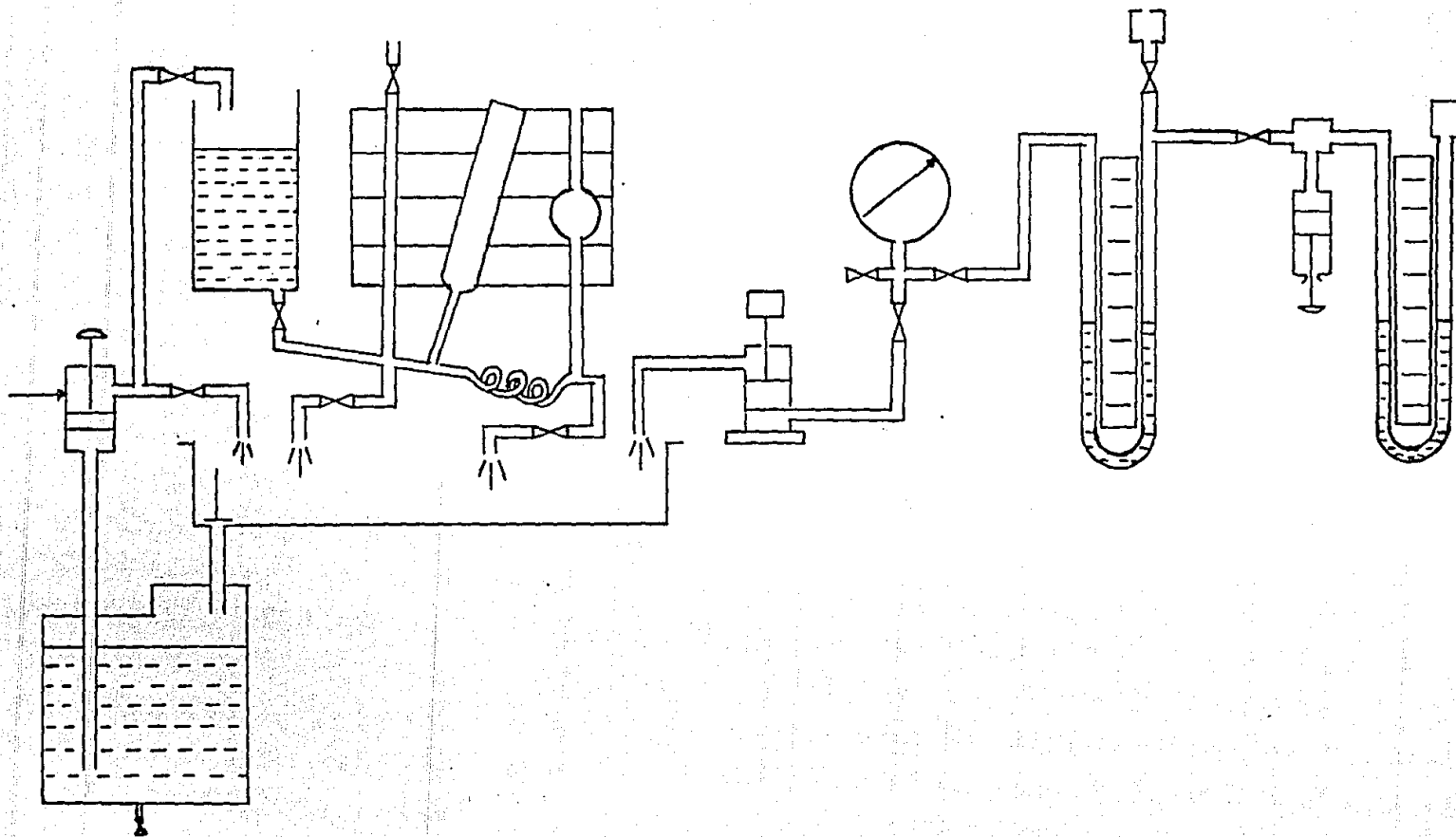


Fig. 3.19 Diagrama Sistemático.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

Este trabajo tuvo como fin el diseño y la elaboración de un conjunto de prácticas que permitan al alumno, a través de su realización en el laboratorio, una mejor comprensión de los conceptos y definiciones de la estática de fluidos. La estructura de las mismas se realizó de manera tal que, siguiendo una secuencia lógica, permitan alcanzar el objetivo deseado en forma clara y concisa.

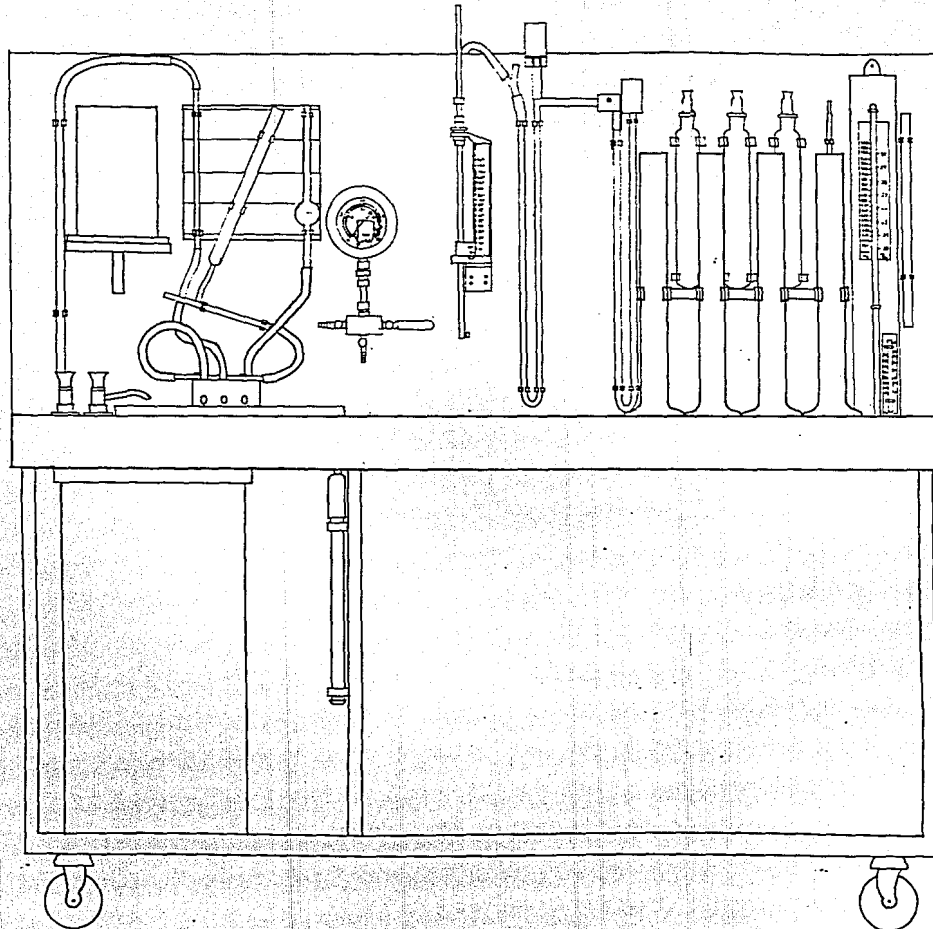
Así, ahora se dispone de un procedimiento para medir la densidad de cualesquier fluido mediante el uso del hidrómetro. De igual forma, se puede cuantificar en el laboratorio de propiedad quizá más importante de los fluidos, la viscosidad.

Los efectos físicos - químicos de las superficies, tensión superficial y capilaridad, tal vez se logre ilustrar con mayor objetividad al realizar las prácticas 3 y 4. Los problemas que suscita la gravedad en un fluido en reposo se podrán abordar en condiciones favorables si se realizan las prácticas 5 a 14, puesto que en ellas se exponen los métodos experimentales para evaluar los efectos del peso de los fluidos. Finalmente, la estabilidad de cuerpos sumergidos o semisumergidos ha sido tratada en forma explícita en las prácticas 15 y 16, en las cuales, se ha buscado exhibir de la mejor manera posible los conceptos que explican el porque un cuerpo flota y cuales son las condiciones para que su equilibrio se vea alterado ante una excitación.

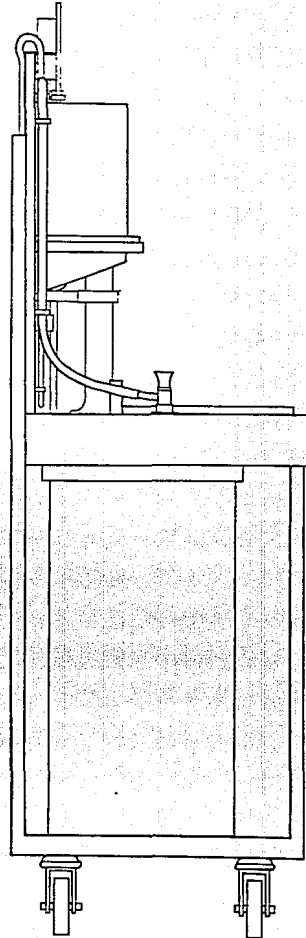
Adicionalmente, se elaboró el diseño del equipo necesario para la realización de las experiencias propuestas a fin de que en el futuro puedan ser construidos.

En fin, ha sido el espíritu de este trabajo poner a consideración de los alumnos principiantes de la mecánica de fluidos, una guía sencilla para la realización de ensayos que ayuden en el proceso enseñanza - aprendizaje, con la esperanza de que la praxis contribuya a clarificar los principios en que se basa esta rama de la física, tan útil al ingeniero de hoy y del mañana.

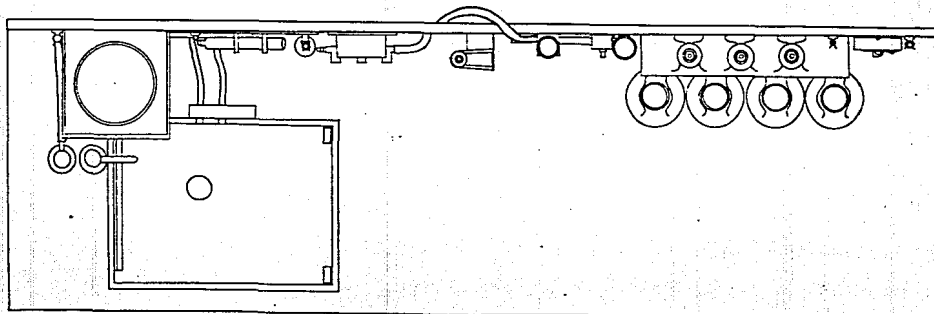
A P E N D I C E



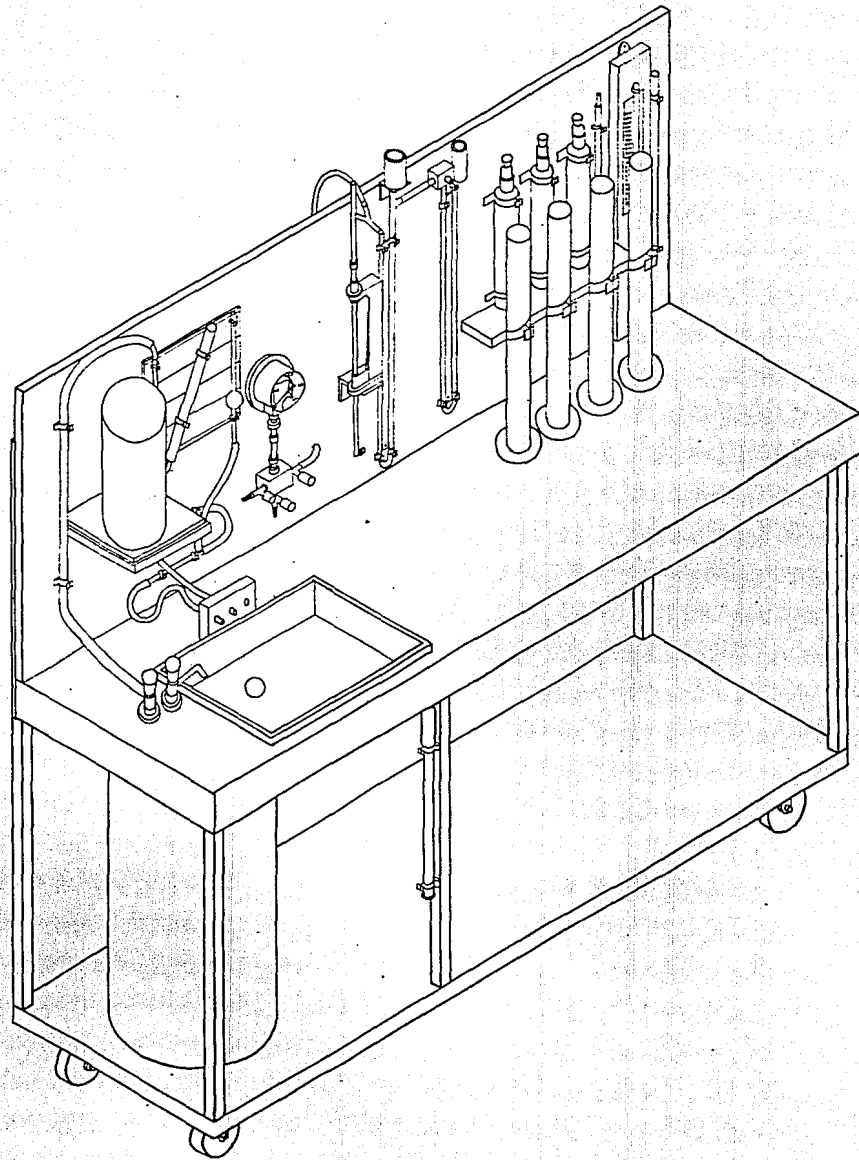
FACULTAD DE INGENIERIA	UNAM
TESIS PROFESIONAL	
MESA PARA PRUEBAS HIDROSTATICAS	
EN FLUIDOS (FRONTAL)	
LUIS MANUEL CHAVEZ MIRANDA	
Acotaciones : mm.	Escala : 1:4



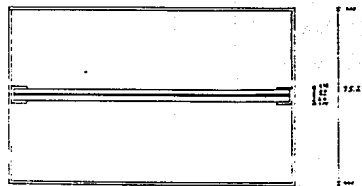
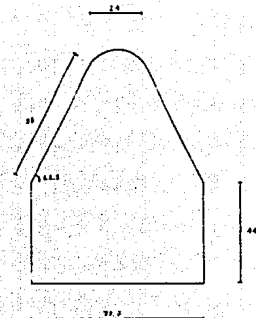
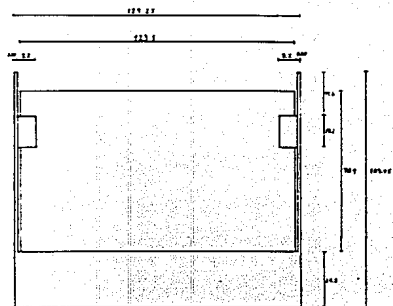
FACULTAD DE INGENIERIA	UNAM
TESIS PROFESIONAL	
MESA PARA PRUEBAS HIDROSTATICAS	
EN FLUIDOS (PERFIL)	
LUIS MANUEL CHAVEZ MIRANDA	
Anotaciones : mm.	
Escala: 1:4	



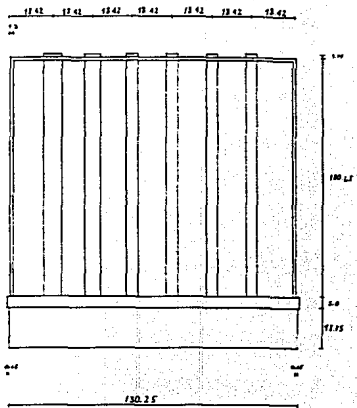
FACULTAD INGENIERIA	UNAM
TESIS PROFESIONAL	
MESA PARA PRUEBAS HIDRO- TATICAS EN FLUIDOS (PLANTA)	
LUIS MANUEL CHAVEZ MIRANDA	
Acotaciones: mm.	Escala: 1:4



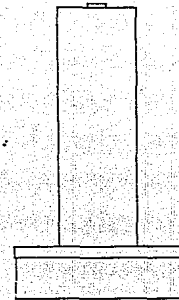
FACULTAD INGENIERIA	UNAM
TESIS PROFESIONAL	
MESA PARA PRUEBAS HIDROSTATICAS EN FLUIDOS (ISOMETRICO)	
LUIS MANUEL CHAVEZ MIRANDA	
Anotaciones: m.m.	Escala: 1:5



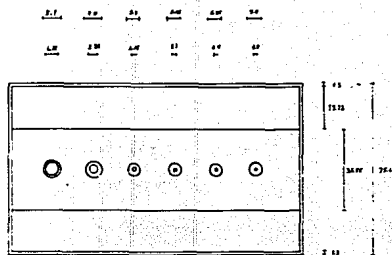
FACULTAD INGENIERIA	UNAM
TESIS PROFESIONAL	
APARATO DE PLACAS (CAPILARES)	
LUIS MANUEL CHAVEZ MIRANDA	
Acolociones: mm	Escala: 1:1



FRONTAL

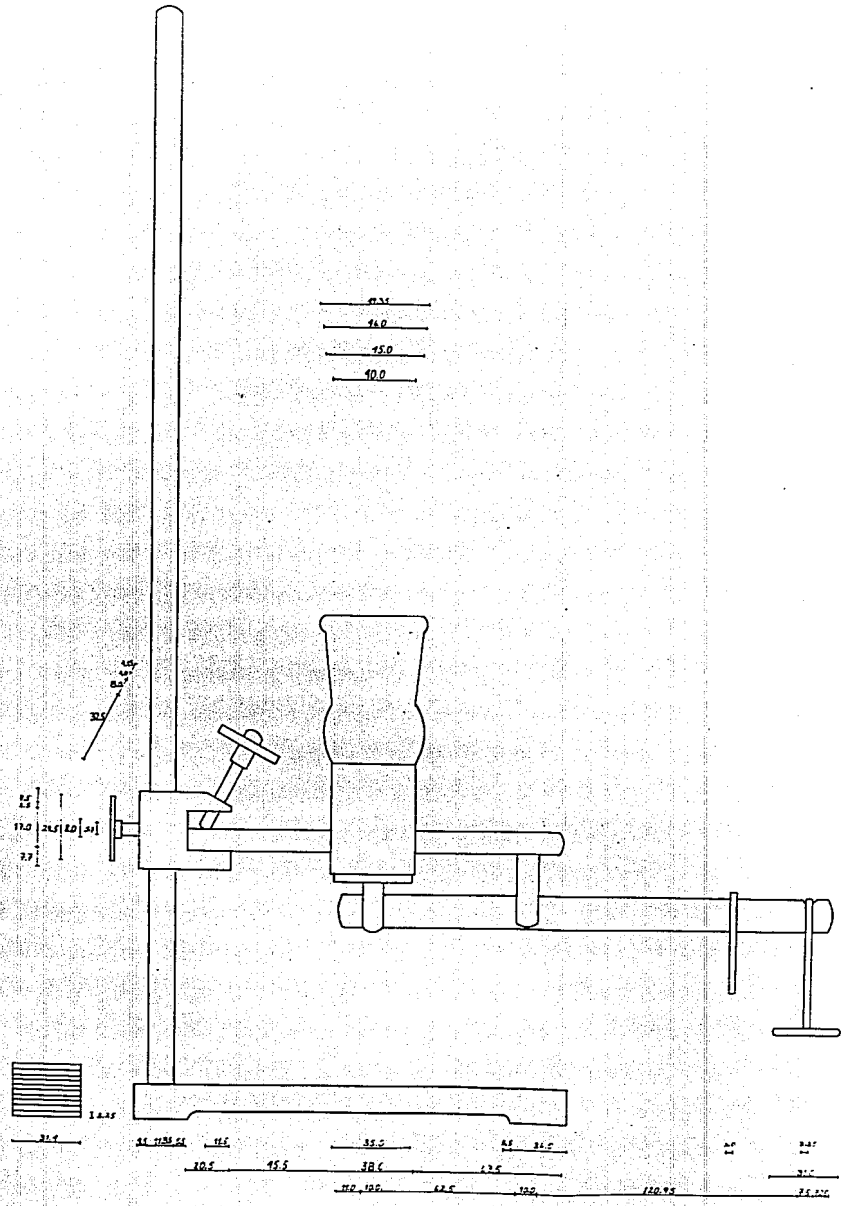
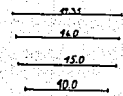
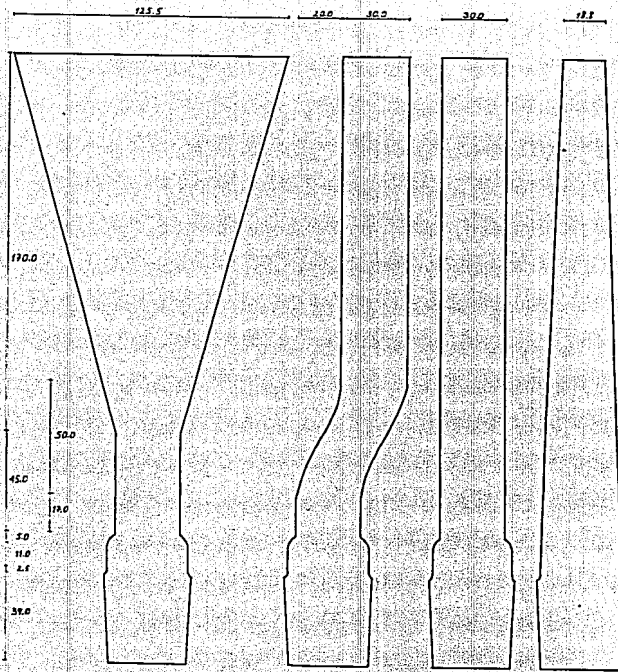


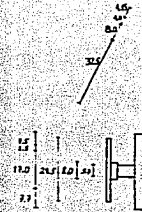
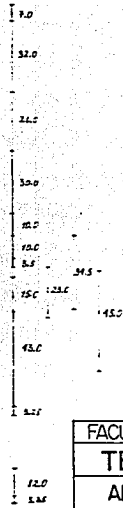
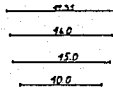
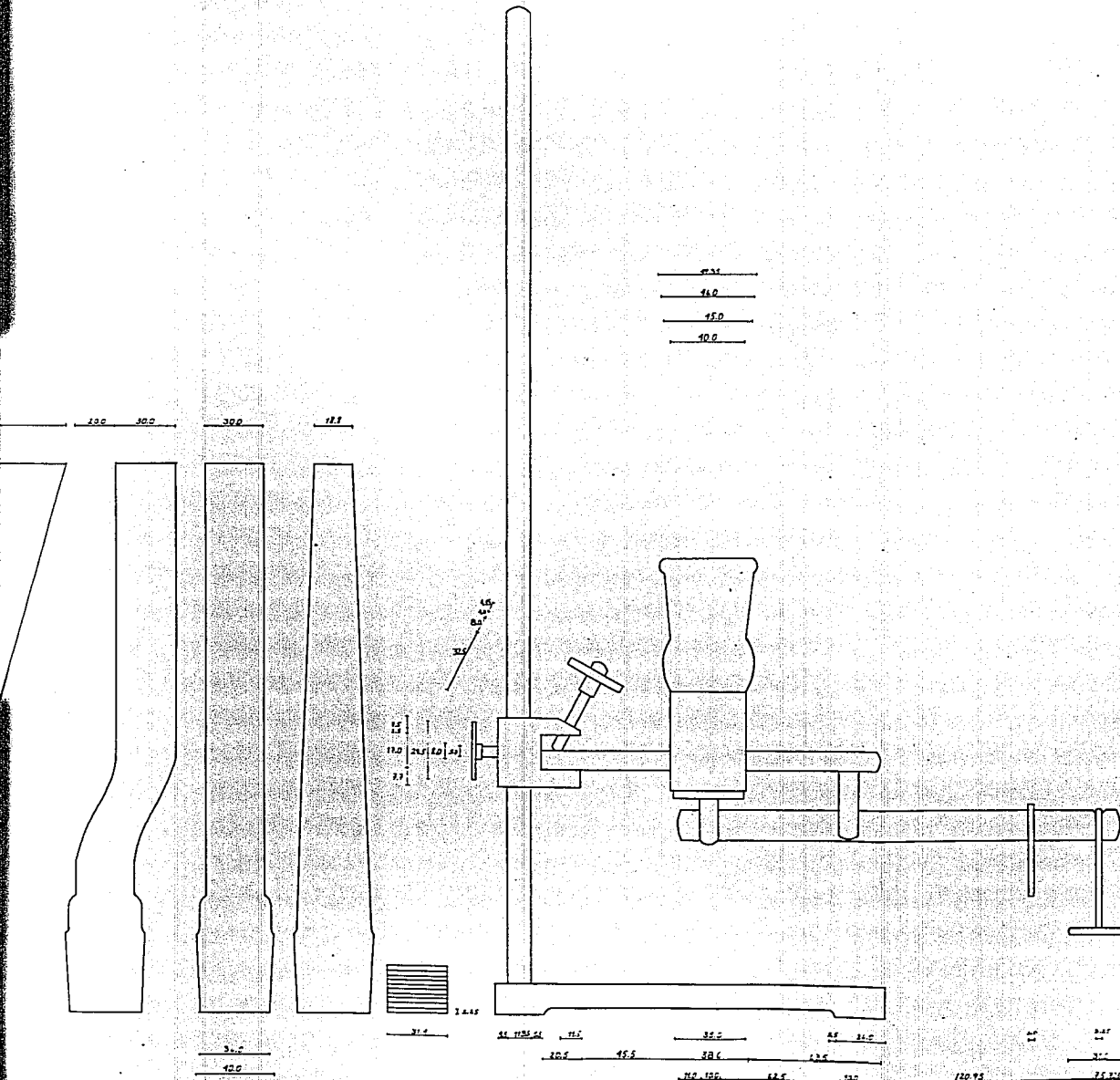
PERFIL



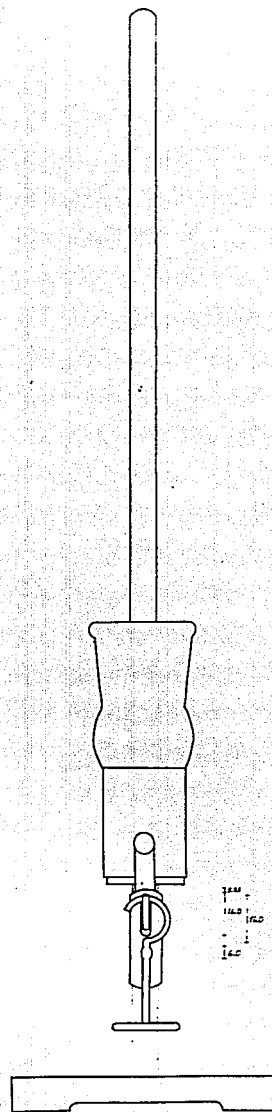
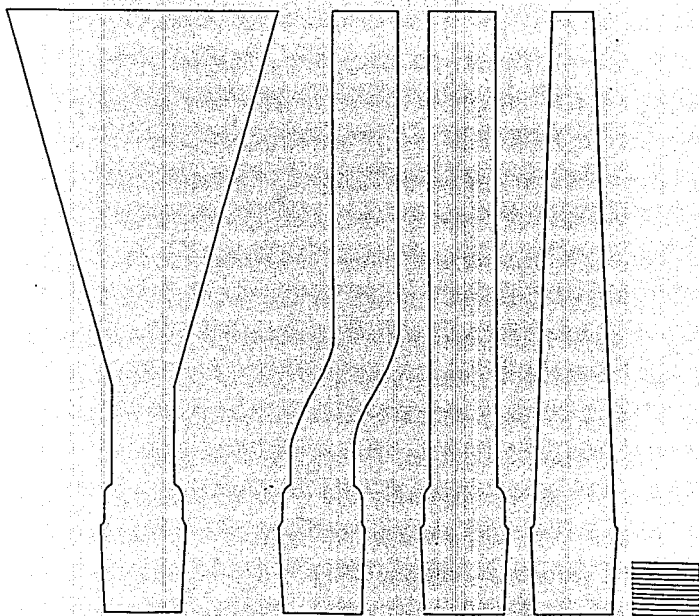
PLANTA

FACULTAD INGENIERIA	UNAM
TESIS PROFESIONAL	
APARATO DE TUBOS	
CAPILARES	
LUIS MANUEL CHAVEZ MIRANDA	
Anotaciones: mm.	
Escala: 1:1	





FACULTAD INGENIERIA	UNAM
TESIS PROFESIONAL	
APARATO DE PASCAL	
(FRONTAL)	
LUIS MANUEL CHAVEZ MIRANDA	
Acotaciones: mm.	
Escala: 1:1	

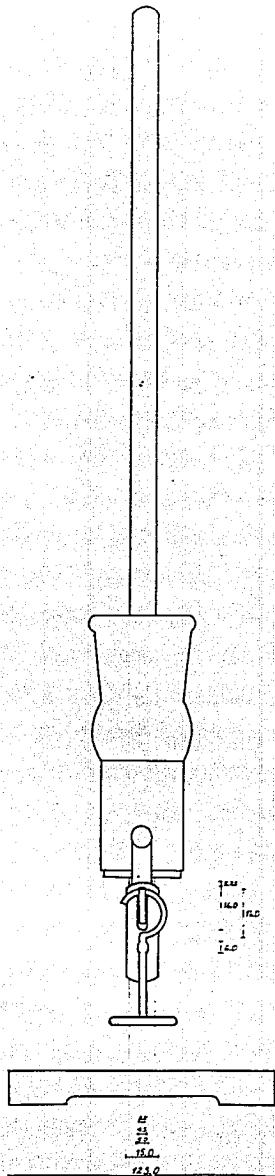
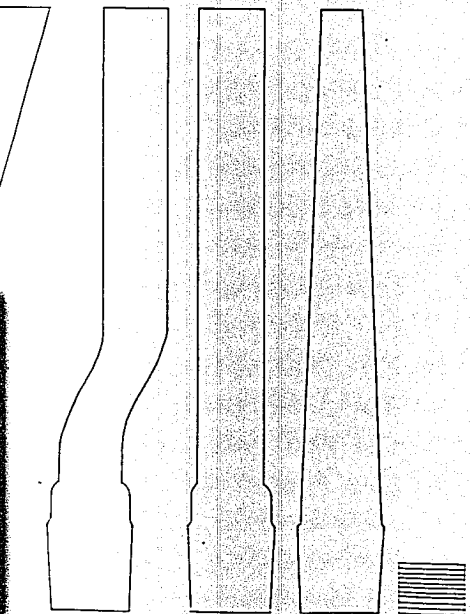


185.75

1.25
1.40
1.40
1.40

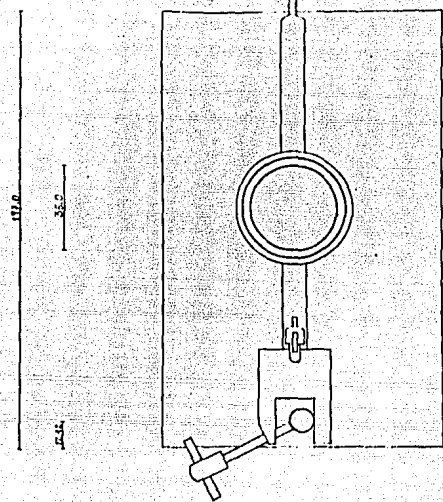
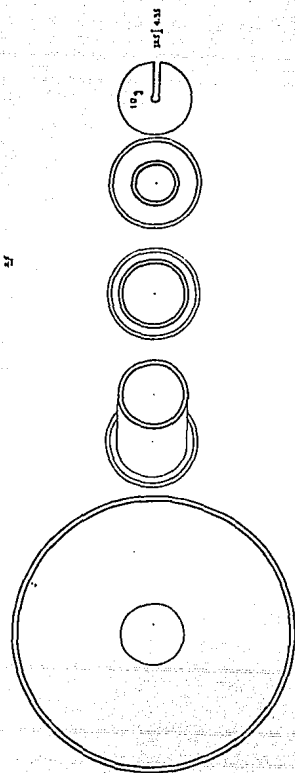
185.75
185.75
185.75
185.75

FACULTAD DE INGEN
TESIS P
APARATO
(PER
LUIS MANUEL CHAV
Aclaraciones: mm.

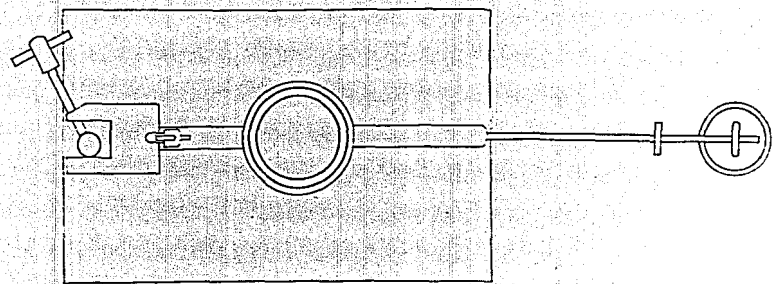
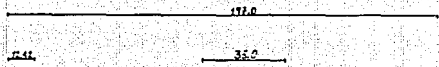
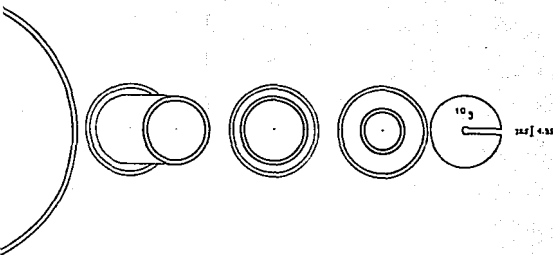


18.5.75

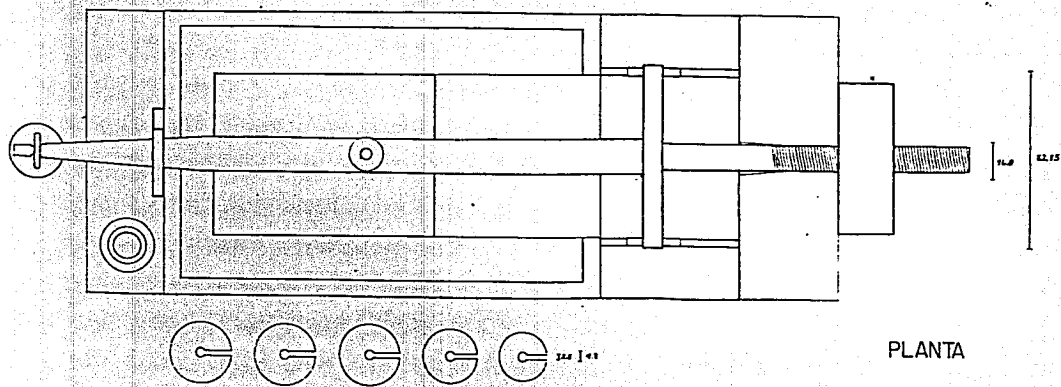
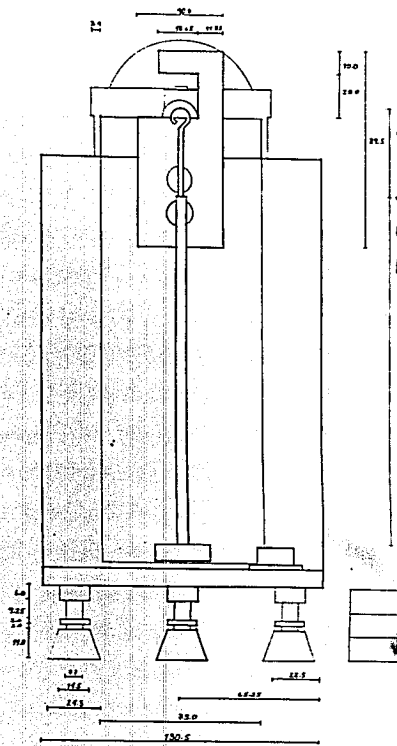
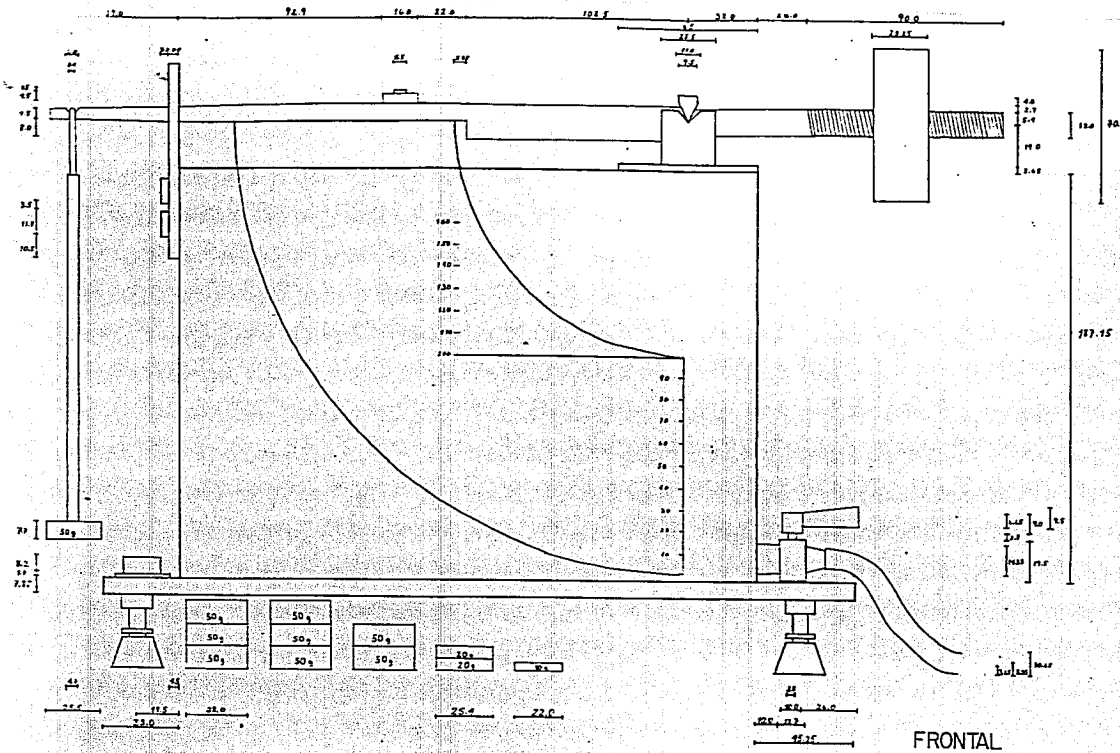
FACULTAD DE INGENIERIA	UNAM
TESIS PROFESIONAL	
APARATO DE PASCAL (PERFIL)	
LUIS MANUEL CHAVEZ MIRANDA	
Anotaciones : mm.	
Escala : 1:1	

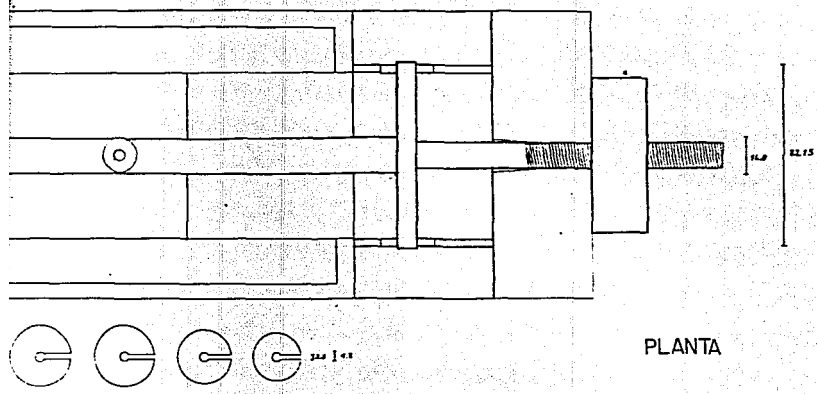
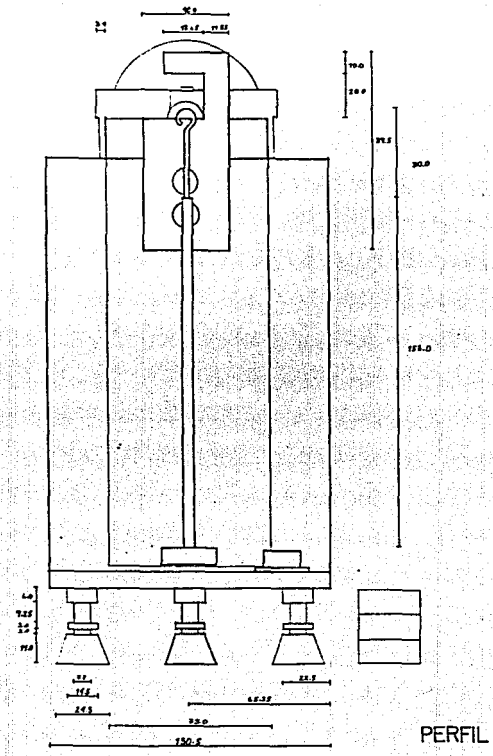
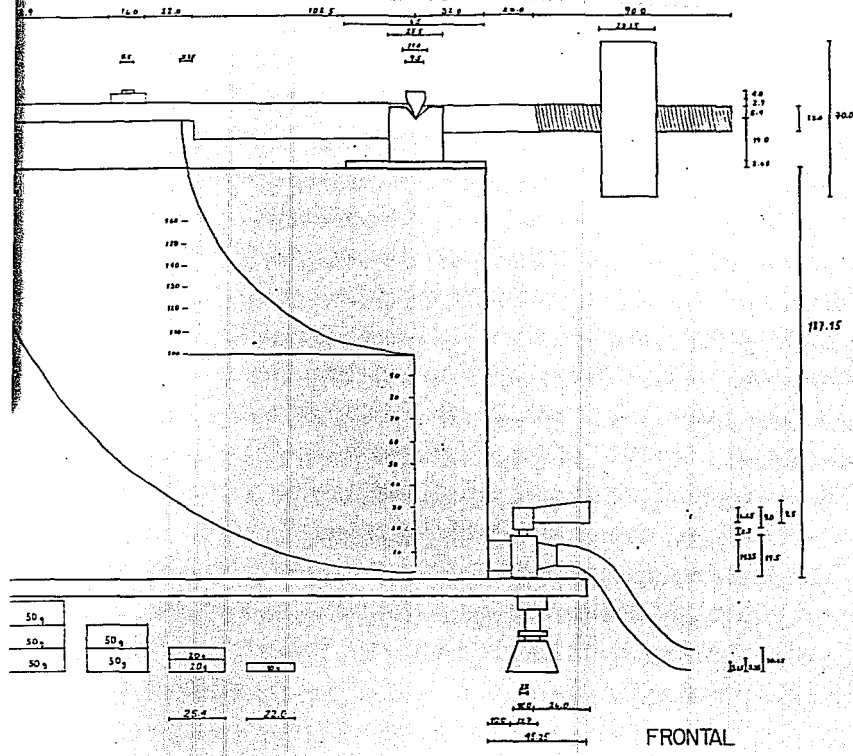


FACULTAD
TE
APARATC
LUIS MA
Anotaciones:

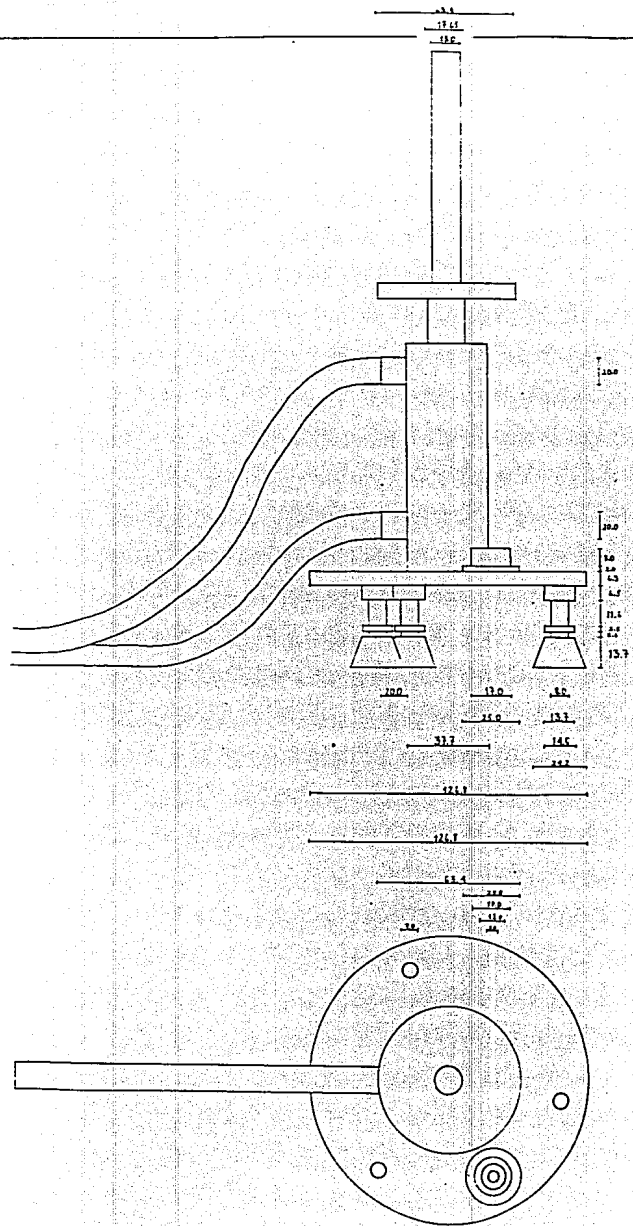


FACULTAD DE INGENIERIA	UNAM
TESIS PROFESIONAL	
APARATO	DE PASCAL
(PLANTA)	
LUIS MANUEL CHAVEZ MIRANDA	
Acotaciones : mm.	Escala : 1:1

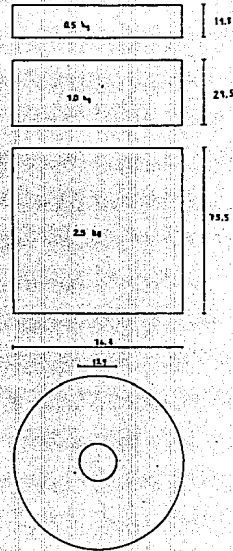




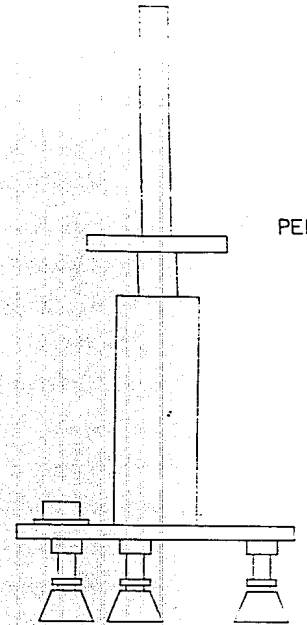
FACULTAD INGENIERIA	UNAM
TESIS PROFESIONAL	
APARATO DE PRESION	
HIDROSTATICA	
LUIS MANUEL CHAVEZ MIRANDA	
Asesorado por:	Escala: 1:1



FRONTAL

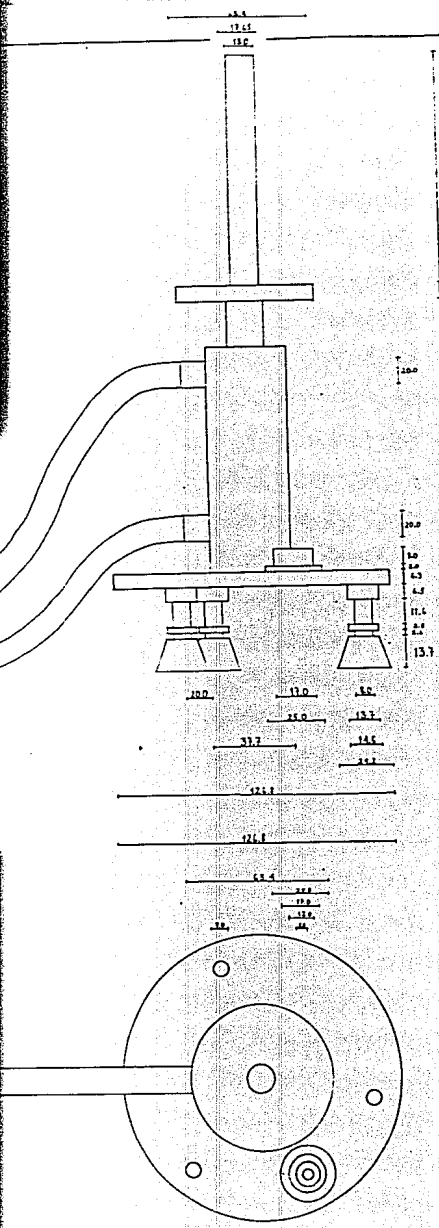


PERFIL

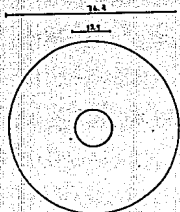
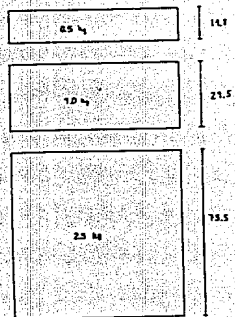


PLANTA

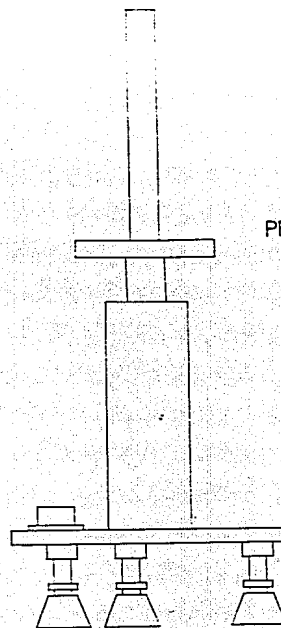
FACULTAD INGE
TESIS P
CALIBRADOR
MU
LUIS MANUEL CE
Anotaciones. m.m.



FRONTAL

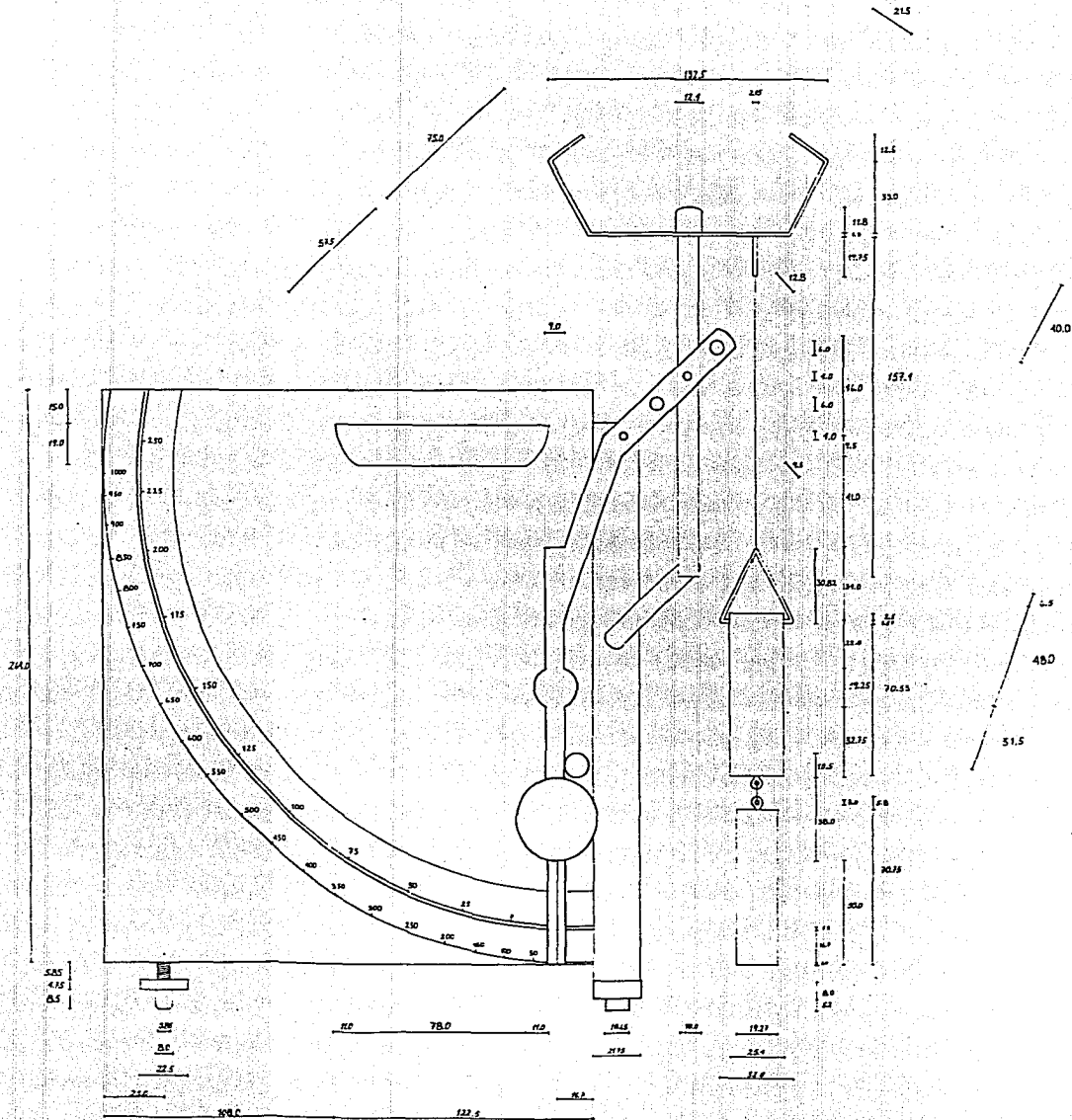


PLANTA



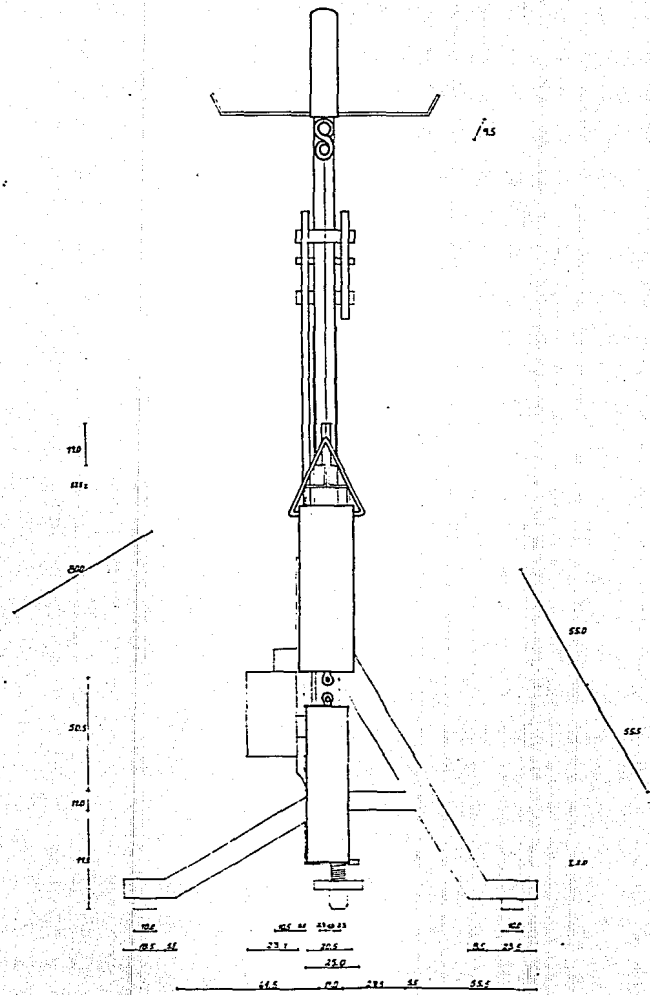
PERFIL

FACULTAD INGENIERIA	UNAM
TESIS PROFESIONAL	
CALIBRADOR DE PESOS	
MUERTOS	
LUIS MANUEL CHAVEZ MIRANDA	
Adiciones: m.m.	Escala: 1:1

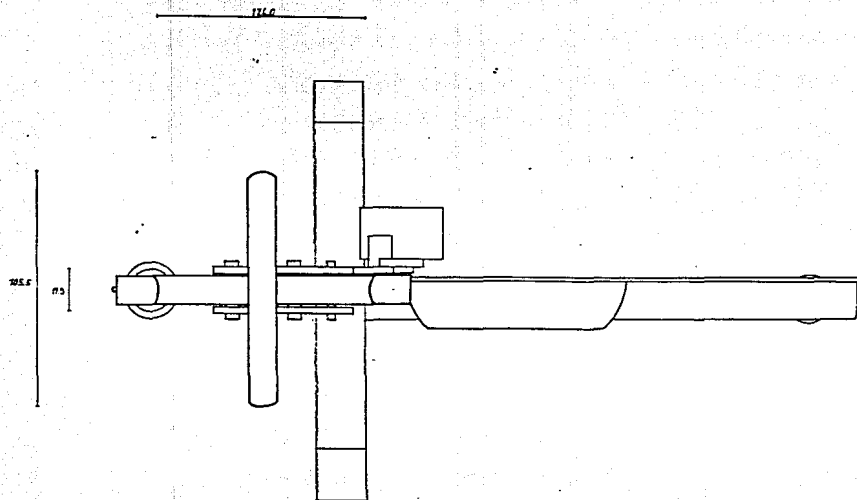


FACULTAD DE INGENIERIA	UNAM
TESIS PROFESIONAL	
BALANZA DE PALANCA	
(FRONTAL)	
LUIS MANUEL CHAVEZ MIRANDA	
Acotaciones: mm.	Escala: 1:1

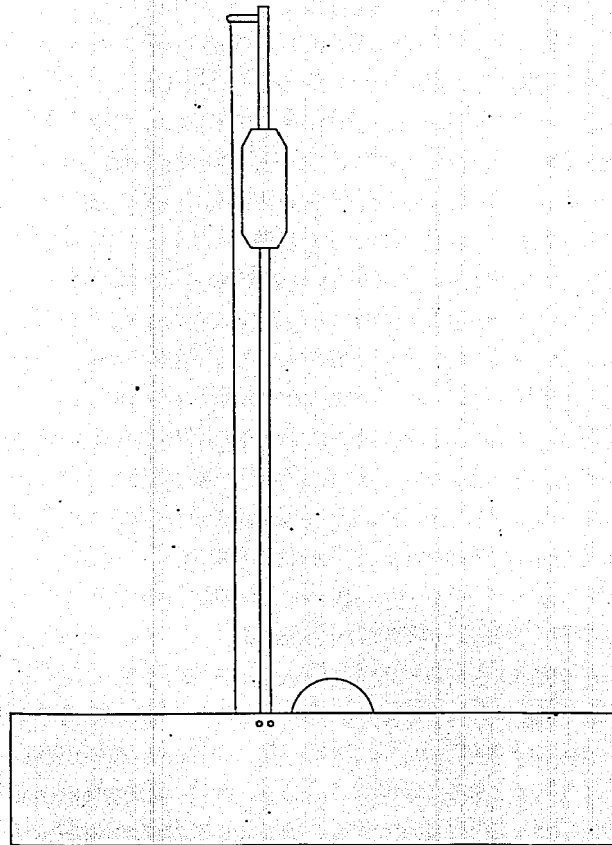
11 12 13 14
15 16 17



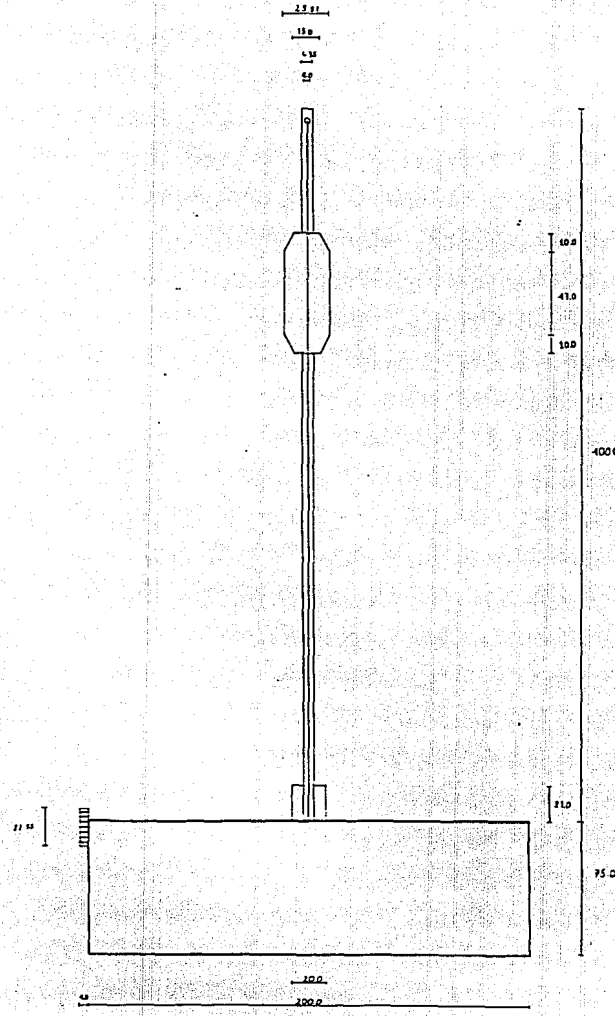
FACULTAD INGENIERIA	UNAM
TESIS PROFESIONAL	
BALANZA DE PALANCA (PERFIL)	
LUIS MANUEL CHAVEZ MIRANDA	
Escala: 1:1	



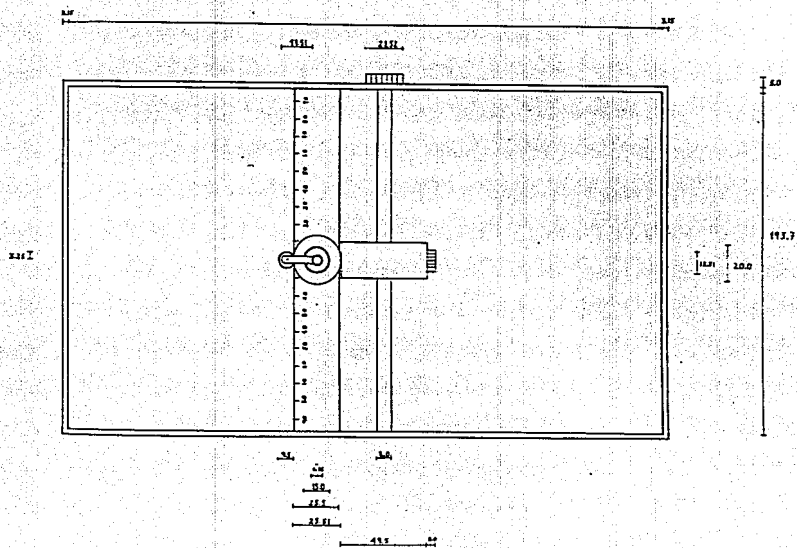
FACULTAD INGENIERIA	UNAM
TESIS PROFESIONAL	
BALANZA DE PALANCA (PLANTA)	
LUIS MANUEL CHAVEZ MIRANDA	
Acotaciones: mm.	Escala: [1]



FACULTAD INGENIERIA	UNAM
TESIS PROFESIONAL	
APARATO DE ALTURA	
METACENTRICA (FRONTAL)	
LUIS MANUEL CHAVEZ MIRANDA	
Anotaciones: mm.	
Escala: 1:25	



FACULTAD INGENIERIA	UNAM
TESIS PROFESIONAL	
APARATO DE ALTURA	
METACENTRICA · (PERFIL)	
LUIS MANUEL CHAVEZ MIRANDA	
Autores: M. T.	Escala: 1:125



FACULTAD INGENIERIA	UNAM
TESIS PROFESIONAL	
APARATO DE	ALTURA
METACENTRICA	(PLANTA)
LUIS MANUEL CHAVEZ MIRANDA	
Escala: mm.	Escala: 1:1.25

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Streeter, Víctor Lyle
Mecánica de Fluidos
Editorial Mc Graw Hill
- 2.- Shames, Irving Herman
Mecánica de Fluidos
Editorial Mc Graw Hill
- 3.- Holman, Jack Phillip
Métodos experimentales para Ingenieros
Editorial Mc Graw Hill
- 4.- Doebelin, Ernest O.
Measurements Systems: Application and Design
Editorial Mc Graw Hill
- 5.- Peruca, Eligio.
Física General y Experimental
Editorial Labor.