



INSTITUTO DE INGENIERIA

INSTRUCTIVO PARA LA CONSTRUCCION Y USO DE MANOMETROS DE MERCURIO

A. W. Dawson

OCTUBRE 1969

D5

INSTRUCTIVO PARA LA CONSTRUCCION Y USO DE MANOMETROS DE MERCURIO

A. W. Dawson *

* Investigador Adjunto, Instituto de Ingeniería, UNAM

1. INTRODUCCION	1
2. LIMPIEZA DEL MERCURIO	4
3. ALGUNOS DETALLES PARA LA CONSTRUCCION DE UN MANO- METRO DE MERCURIO	7
4. MANOMETRO DE PRECISION DEL INSTITUTO DE INGENIERIA	11

1. INTRODUCCION

La forma habitual de efectuar la medición de presiones es mediante manómetros. Estos consisten en un tubo doblado en forma de U y parcialmente lleno de líquido. Tanto el líquido como la altura del manómetro se escogen según la magnitud de la presión por medir y la sensibilidad que se requiere. La presión, P , se calcula como:

$$P = \gamma_T (h_1 - h_2) \quad (1)$$

donde

- γ_T peso volumétrico del líquido a la temperatura T de uso (tabla 1)
- h_1 altura de fluido en el extremo sujeto a la presión atmosférica
- h_2 altura de fluido en el extremo sujeto a la presión por medir

El grado de precisión al medir la presión,

dP , es:

$$dP = \pm d(\gamma_T) (h_1 - h_2) \pm \gamma_T d(h_1 - h_2) \quad (2)$$

$$dP = \pm \Delta h d\gamma_T \pm \gamma_T d(\Delta h)$$

donde

$d(\Delta h)$ error probable en la medición de la diferencia de alturas del fluido

$d\gamma_T$ error probable en el valor de γ_T

Tabla 1
Peso volumétrico del
mercurio puro*

Temperatura, en °C	Peso volumétrico, en gr/cm ³
10	13.5708
11	13.5684
12	13.5659
13	13.5634
14	13.5610
15	13.5585
16	13.5561
17	13.5536
18	13.5512
19	13.5487
20	13.5462
21	13.5438
22	13.5413
23	13.5389
24	13.5364
25	13.5340

*Tomado de "Handbook of Chemistry and Physics", Chemical Rubber Publishing, Co., 42ed., Cleveland, EUA (1960-61), pág. 2144

Puesto que un manómetro de varios metros de altura puede sufrir un cambio de temperatura de varios grados en toda su longitud, y como es probable que el mercurio contenga ciertas impurezas, hay la probabilidad de que se presente un error $d\gamma_T$ de $\pm 0.01 \text{ gr/cm}^3$. Con las precauciones apropiadas este error puede reducirse a $\pm 0.005 \text{ gr/cm}^3$.

El error $d(\Delta h)$ es del orden de $\pm 0.1 \text{ cm}$. Por lo tanto, considerando $d\gamma_T = 0.005 \text{ gr/cm}^3$, se obtiene

$$\begin{aligned} dP &= \pm \Delta h \cdot d\gamma_T \pm \gamma_T \cdot d(\Delta h) \\ &= \pm 5 \Delta h \times 10^{-4} \pm 0.0014 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Donde Δh está en m. Los errores probables de P son 0.002 kg/cm^2 , para $\Delta h = 1 \text{ m}$, y de 0.004 kg/cm^2 , para $\Delta h = 5 \text{ m}$. Las mediciones realizadas sin cuidado pueden duplicar o triplicar el error probable de los valores mencionados.

2. LIMPIEZA DEL MERCURIO

La limpieza del mercurio es necesaria para conservar su densidad y garantizar la formación de los meniscos. Además, se evita que el manómetro se ensucie demasiado.

En el mercurio se pueden presentar las siguientes impurezas: grasa, agua, tierra, polvo, metales y óxidos. Un procedimiento adecuado para limpiarlo es el que se presenta a continuación.

- a. Eliminar polvo, tierra y óxidos con una franela
- b. Suprimir las grasas con hidróxido de potasio
- c. Quitar las impurezas metálicas con ácido nítrico
- d. Lavar con agua destilada
- e. Secar

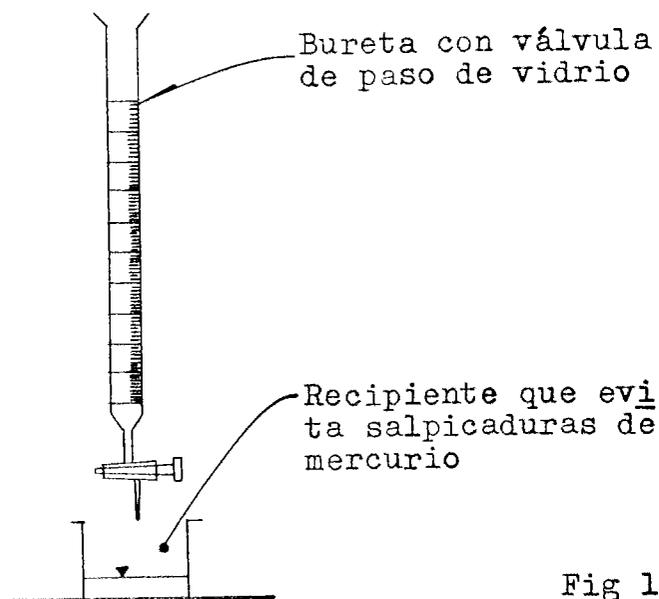
La solución de hidróxido de potasio al 10 por ciento es una mezcla de 10 gr de cristales de hidróxido de potasio por cada 100 cm³ de agua destilada.

La solución de ácido nítrico al 10 a 15 por ciento se prepara mezclando 25 partes de ácido concentrado en 75 partes de agua destilada.

Se recomienda precaución con los cristales de hidróxido de potasio y el ácido nítrico concentrado, ya que ambos producen quemaduras al contacto con la piel, y de caer el ácido a los ojos, puede causar ceguera. En caso de accidente, debe lavarse la piel inmediatamente con agua y, si se cree necesario, consultar un médico. Al mezclar y agregar lenta y cuidadosamente el ácido nítrico concentrado al agua destilada, hay que evitar salpicaduras.

A continuación se muestra el equipo para el lavado de mercurio.

Columna de lavado



Goteador

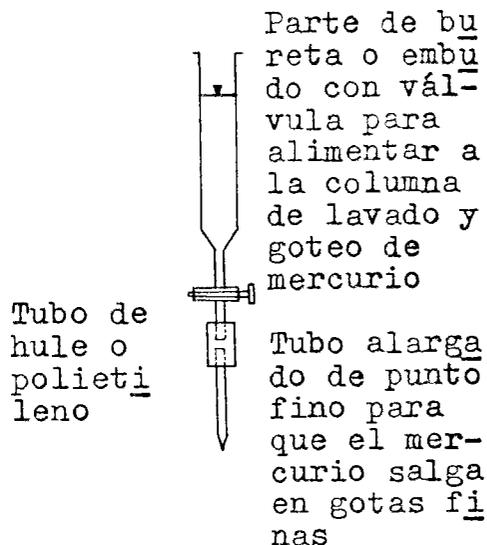


Fig 1

Si el mercurio está grasoso, primero se llena la bureta larga con solución de hidróxido de potasio (KOH) y se coloca un recipiente limpio debajo. Se llena el goteador con mercurio, al que se le ha eliminado la tierra y polvo, y se deja caer el mercurio en la columna de lavado. Es necesario evitar pérdidas de mercurio y que la solución desplazada por el mismo desborde la bureta.

Después se abre la válvula de la columna de lavado para dejar pasar el mercurio al recipiente. Así se va limpiando el mercurio hasta que el volumen total ha pasado por la solución de KOH. Si el mercurio está muy sucio es conveniente repetir el proceso anterior varias veces, e inclusive lavar el goteador y la bureta con agua y jabón en

cada ocasión.

El lavado con solución de ácido nítrico se realiza de igual manera. Cuando se considera que el mercurio está limpio, el exceso de ácido se elimina lavándolo con agua destilada, una o dos veces. El mercurio puede secarse calentándolo a 65 o 70°C, bajo un vacío parcial absoluto de 15 cm de mercurio, o más, o bajo uno parcial (en la ciudad de México) de 45 cm de mercurio, o más, con respecto a la presión atmosférica. Este calentamiento con vacío debe efectuarse durante 10 o 15 min por lo menos.

Como los vapores de mercurio son muy tóxicos resulta conveniente emplear una trompa para aplicar el vacío. Nunca debe calentarse el mercurio a temperaturas mayores que 100°C y es aconsejable preservar el vacío en tanto que el mercurio se enfría, y así evitar la formación de óxidos de mercurio. En caso de que se formen, pueden ser eliminados con papel de seda.

3. ALGUNOS DETALLES PARA LA CONSTRUCCION DE UN MANOMETRO DE MERCURIO

A continuación se presentan algunos aspectos importantes en la construcción y diseño de los manómetros de mercurio.

El tubo debe ser de un material suficientemente rígido, pues en algunos de plástico blando, como el

polietileno, las presiones aplicadas al tubo causan expansiones que provocan fluctuaciones del nivel de mercurio y dificultan el control de la presión. Tubos de "saran", "nyloseal" y vidrio resultan adecuados.

Una vez limpio el mercurio, en trabajos de precisión, es conveniente verificar su peso volumétrico en la tabla 1, y compararlo con su valor real. El peso volumétrico de un material a la temperatura T está dado por:

$$\gamma_T = \left(\frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} \right)_T$$

Para efectuar una medición de la densidad de mercurio (γ_T) a una temperatura T, con $\pm .0016$ gr/cm³ de precisión, puede seguirse el siguiente procedimiento.

Se requiere un picnómetro de 50 cm³ con termómetro integral, agua destilada desaerada, una báscula de 150 ± 0.001 gr de capacidad y otra de 800 ± 0.01 gr de capacidad. Se calibra el picnómetro llenándolo con agua destilada y determinando el peso de la misma. El volumen del agua se calcula según su densidad a la temperatura indicada, tomando en cuenta el efecto de inmersión en el aire del picnómetro y de las pesas de la báscula en el peso del agua. Una vez que el picnómetro se calibra, se llena con mercurio y se pesa el conjunto en una báscula de 800 gr.

En el procedimiento descrito es importante limpiar perfectamente el picnómetro, y eliminar todo exceso

de agua o mercurio en la junta del termómetro con el picnómetro. El peso se mide en condiciones de equilibrio de temperatura en el picnómetro y cuando el menisco de agua o mercurio se encuentra exactamente en el nivel apropiado. Puesto que en la báscula automática se desconoce el volumen de las pesas, es necesario emplear la báscula de torsión para aplicar la corrección debida a inmersión en aire, y así obtener el peso en el vacío.

Es conveniente efectuar un análisis de errores en la medición de la densidad γ_T . El error total es

$$d(\gamma_T) = \pm \frac{d(\text{Peso})}{\text{Volumen}} \pm \frac{\text{Peso} (d(\text{Volumen}))}{(\text{Volumen})^2}$$

Usando un picnómetro de 50 cm^3 ,

$d(\text{Peso}) = 0.01 \text{ gr}$, $\text{Peso} = 680 \text{ gr}$, y $d(\text{Volumen}) = 0.005 \text{ cm}^3$.

Se obtiene una precisión $d(\gamma_T) = \pm 0.0016 \text{ gr/cm}^3$ la cual es adecuada para un manómetro de mercurio. Una medición de la densidad del mercurio lavado con el procedimiento descrito coincidió con los valores de la tabla 1. Un error importante en manómetros de mercurio parte del efecto de capilaridad. La altura del menisco de mercurio se puede calcular conociendo el diámetro inferior del tubo del manómetro y la tensión superficial del mercurio:

$$h_{\text{Hg}} = \frac{2 T_{\text{Hg}}}{r \gamma_T g} + r/3$$

donde

- h_{Hg} corrección de la altura del menisco
 T_{Hg} tensión superficial del mercurio ($487 \frac{\text{dinas}}{\text{cm}}$)
 γ_{T} densidad del mercurio (13.55 gr/cm^3 a 20°C)
 g aceleración de la gravedad (980 cm/seg^2)
 r radio interior del tubo

El término $r/3$ es una corrección debida a la curvatura del menisco, suponiéndole una forma hemisférica. La corrección calculada por capilaridad, h_{Hg} , para varios tubos se presenta en la tabla 2.

Tabla 2

Diámetro exterior	r	$\frac{2}{r} \frac{\text{Hg}}{\gamma_{\text{Hg}} \cdot g}$	$r/3$	h_{Hg}
1/8"	0.12 cm	0.61 cm	0.04	0.65
3/16"	0.16 cm	0.46 cm	0.05	0.51
1/4"	0.22 cm	0.33 cm	0.07	0.40*

*La corrección h_{Hg} , que probablemente es del orden de 0.35 o 0.37 cm, es debida al error en la suposición de la forma hemisférica del menisco.

La corrección del menisco puede variar según el estado de limpieza del tubo. Cuando el mercurio ha estado en servicio durante mucho tiempo, los tubos tienden a la acumulación de óxidos de mercurio sobre su superficie. Esto puede hacer que el mercurio moje la pared del tubo e invalide los cálculos precedentes de la altura capilar dando lugar a grandes errores en el valor de la presión medida. El problema se reduce con el empleo de mercurio limpio y el aseo de la pared del tubo con soluciones de hidróxido de potasio y de ácido nítrico.

4. MANOMETRO DE PRECISION DEL INSTITUTO DE INGENIERIA

Este manómetro fue creado para tener una referencia confiable de presión en el laboratorio. Se usa principalmente para calibrar los transductores (transducers) de presión que se emplean en la medición de presiones en pruebas triaxiales. En la fig 2 se muestra un esquema de este manómetro, cuya característica esencial es la de contar con una rama que puede mantenerse a una elevación constante.

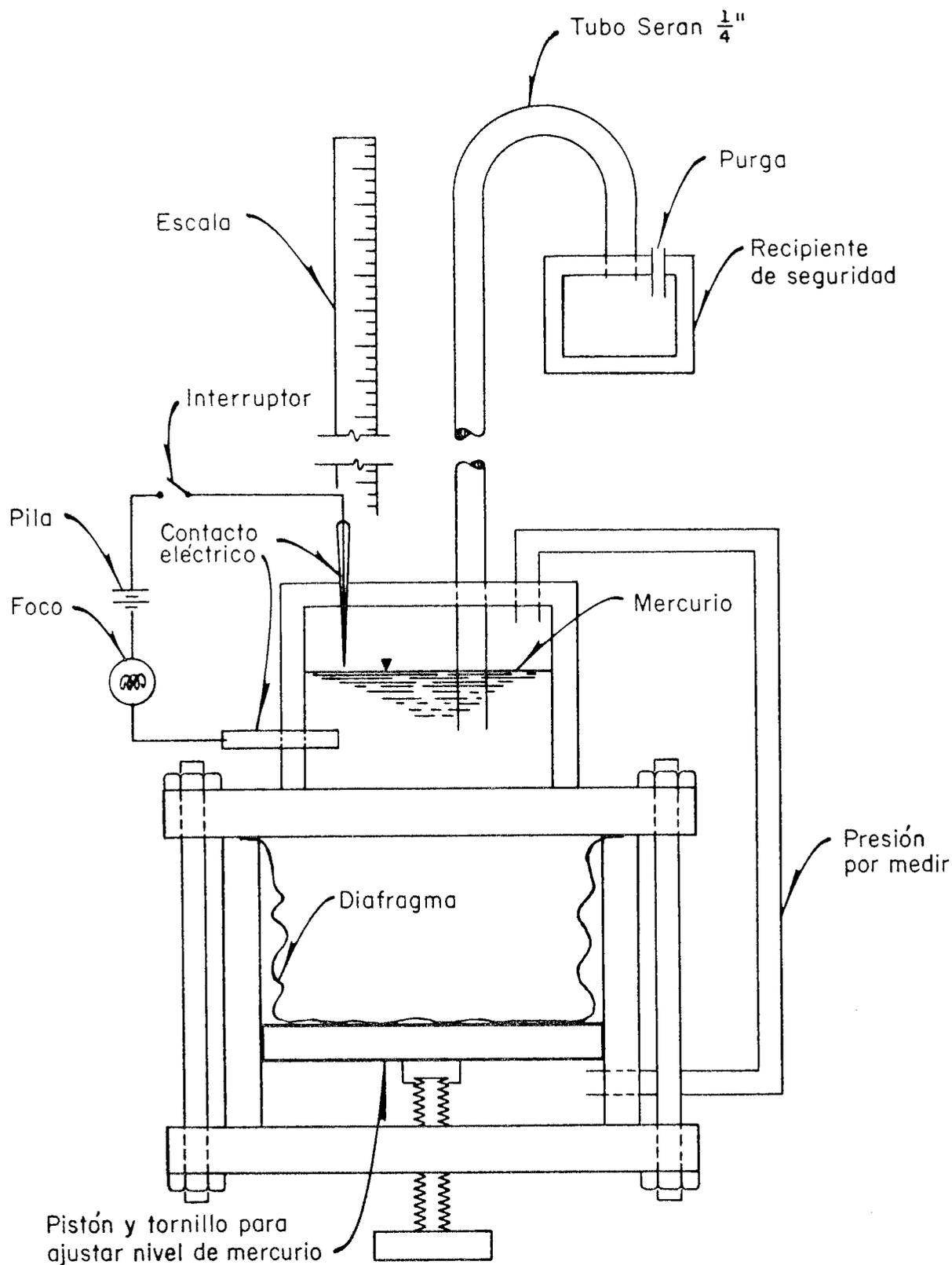


Fig 2 Esquema del manómetro de mercurio del Instituto de Ingeniería

El nivel de mercurio en el vaso de lucita de pende de la presión aplicada y de la posición del diafragma. Un cambio de presión de aire requiere un ajuste en el nivel de mercurio por medio del tornillo que se encuentra en el fondo del recipiente. Para medir la presión es necesario ajustar el nivel de mercurio en el vaso hasta llegar aproximadamente a la presión de interés. El ajuste final se hace con un contacto eléctrico colocado en la tapa del vaso, es decir, que un foco se enciende cuando el nivel de mercurio llega a tocar la punta del contacto, cuya elevación es constante y coincide con el cero de la escala corregido por capilaridad. Una vez ajustado el nivel del mercurio puede leerse la altura de la columna en la escala de precisión, la que está diseñada para dar lecturas correctas cuando se encuentra soportada en toda su longitud y tiene una tensión de 4.5 kg.

En caso de quitar la tapa para limpiar el mercurio, debe reajustarse el nivel de la aguja de contacto para conservar correctamente el cero del aparato.

En la fig 3 se indica cómo lograr la corrección del cero por capilaridad ajustando el nivel del contacto.

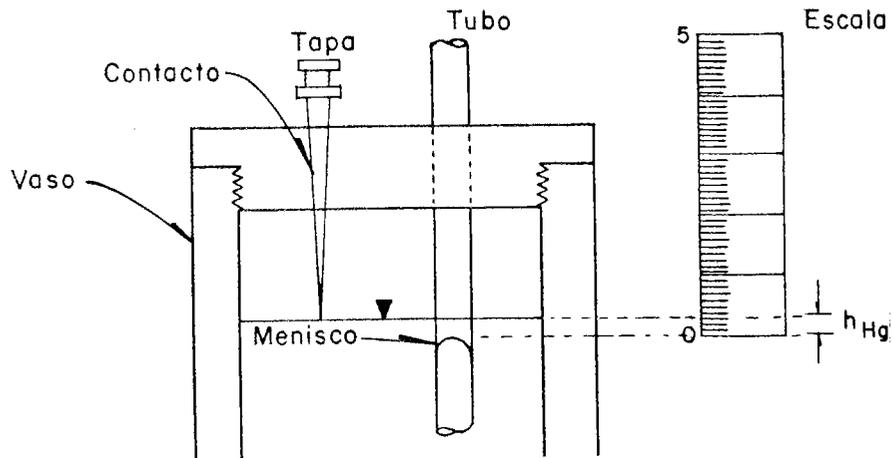


Fig 3

Corrección del contacto por capilaridad

Con anterioridad se mencionó el ajuste necesario para mantener constante el nivel de mercurio en el vaso cuando hay cambios de presión; ahora, resulta necesario aclarar que de no hacerlo con cambios de presión mayores de 1 kg/cm^2 se pueden tener problemas. Cuando baja la presión, el nivel de mercurio asciende hasta entrar en las líneas de aire que transmiten la presión. Si esto ocurre se deben desarmar y limpiar completamente todas las líneas del manómetro. De no ajustarse el nivel al subir la presión, el mercurio puede descender en el vaso hasta permitir la entrada de aire en el tubo del manómetro, expulsando el mercurio por el extremo superior del mismo.

Si por alguna razón es necesario desarmar el manómetro, al rearmarlo se debe probar la junta del diafragma con la lucita para evitar fugas que impliquen pérdidas de mercurio del vaso al piso.

En manómetros de gran altura, como el del Instituto de Ingeniería que es de 5 m, conviene medir la temperatura del mercurio a distintas elevaciones. Normalmente se puede esperar que por la tarde esta sea varios grados más alta en la parte superior del manómetro. En los cálculos, se puede tomar el promedio de la temperatura para escoger la densidad apropiada del mercurio.

El único mantenimiento que requiere este manómetro es limpieza en todos los sentidos (mercurio, tubo, etc.) y cambios ocasionales de las pilas de 1.5 voltios que sirven para encender el foco del mecanismo indicador de contacto.