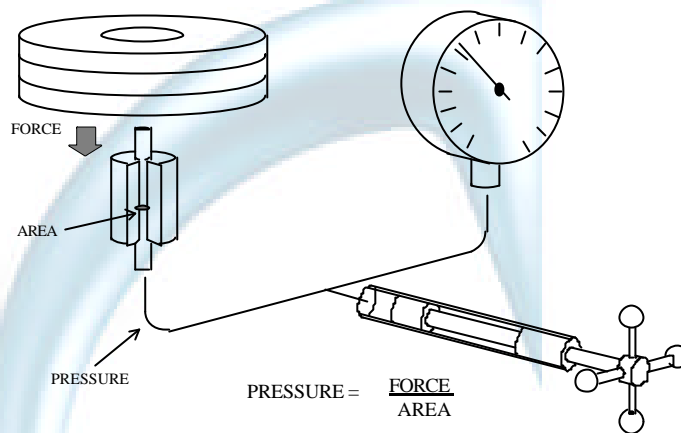


Balanzas de pesos muertos

La idea de este artículo es la de mostrar las consideraciones que se deben tomar en cuenta al utilizar una balanza de pesos muertos, ya que este equipo es una buena opción en calibraciones de exactitudes mejores al $\pm 0,01\%$, pero si dichas consideraciones no se toman en cuenta o si la exactitud es peor al $\pm 0,01\%$, valdría la pena considerar un calibrador digital de presión.

El siguiente diagrama nos muestra como funciona una balanza de pesos muertos.



La bomba aplica presión al manómetro bajo prueba y al pistón, cuando la presión de la bomba sea igual a la presión que aplican las masas, éstas flotarán sobre el pistón y en ese momento tendremos una presión conocida, dada por la ecuación:

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

Donde: P = Presión
F = Fuerza
A = Área

La fuerza se ve afectada por los siguientes factores:

- Las masas
- Tensión superficial
- Gravedad local
- Boyancia del aire
- Nivel

Recordaremos que:

Fuerza = Masa * Aceleración

Por esta razón, la aceleración de atracción de la tierra (g) juega un papel muy importante y vamos a ejemplificarlo.

Tomemos en cuenta los siguientes datos:

Gravedad estándar = $9\,80665 \text{ m/s}^2$

Gravedad en Cd. De México = $9,77914 \text{ m/s}^2$



INGENIERÍA Y METROLOGÍA
EXACTITUD PARA LA CALIDAD

Salvatierra 32-1 bis, Col. San Bartolo Atepehuacan, 07730 México, D.F.
Tel: 5754-3087. Fax: 5586-8393. e-mail: ventas@inymet.com.mx
www.inymet.com.mx

Esto muestra que si calibramos con una balanza basada en la gravedad estándar en la ciudad de México, debemos corregir por la gravedad local, de lo contrario estaríamos cometiendo un error del 2.8%.

Si recordamos el principio de Arquímedes que dice: "El peso de un objeto sumergido en un fluido se ve disminuido por el peso del fluido desplazado", nos damos cuenta que al colocar las masas sobre el pistón estamos desplazando aire por lo que se presenta el efecto de boyancia o flotabilidad, para corregir este efecto utilizamos la siguiente fórmula:

$$1 - \rho_a / \rho_s$$

donde: ρ_a = densidad del aire (nominalmente $0,0012 \text{ g/cm}^3$)

ρ_s = densidad de las masas (8 g/cm^3 en acero inoxidable)

La densidad del aire se calcula como:

$$\rho_a = \frac{(0.0004646 * (P - 4990221.6 * U * e^{(-5315.56 / (273.15 + T))}))}{(273.15 + T)}$$

Donde : T = Temperatura del aire en °C
 U = Humedad relativa en % RH
 P = Presión barométrica en mmHg

Si ignoráramos este efecto en un laboratorio cuyas condiciones ambientales sean:

RH= 50%
 T= 23°C
 P= 760 mmHg

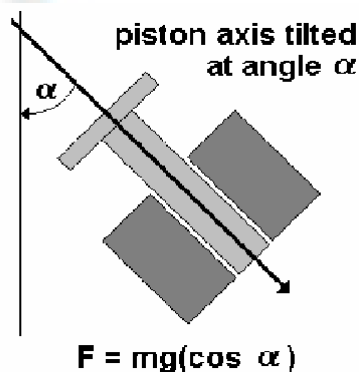
Y las masas de las balanzas tuvieron una densidad de 8.4 g/cm^3 (latón) tendríamos un factor de corrección como sigue:

$$\rho_a = 0,001186 \text{ g/cm}^3$$

$$(1 - \rho_a / \rho_s) = (1 - 0,001186 / 8.4) = 0,99986$$

Es decir, cometeríamos un error de 140 ppm (0,014%), bastante grande para una balanza de pesos muertos.

Es importante nivelar la balanza de pesos muertos para asegurar que la fuerza que aplique el pistón sea perpendicular a la tangente de la tierra en ese punto, de lo contrario pasaría el siguiente efecto:



A continuación mostramos algunos ejemplos del error que se cometería al tener desnivelada la balanza.

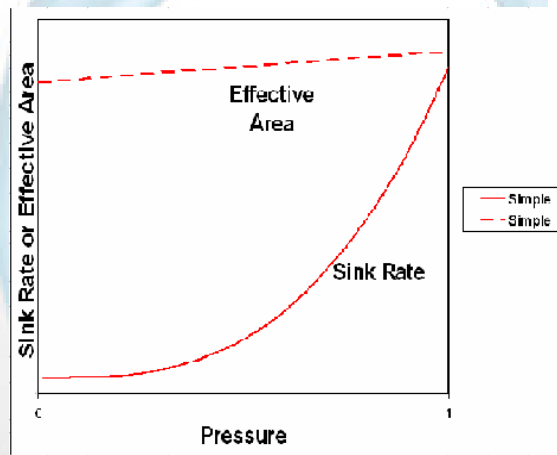
α . (minutos de arco)	Error (%)
5	0,00011
15	0,00095
60 (1°)	0,015
120 (2°)	0,061

Podemos concluir que es muy importante nivelar la balanza muy bien, ya que desviaciones muy pequeñas e imperceptibles al ojo humano provocarían grandes errores.

Ya conocemos los factores que afectan la fuerza, el Área por otro lado se ve afectada por la:

- Presión (distorsión, fluido, geometría)
- Temperatura

En las balanzas de pesos muertos del tipo simple, las cuales son la mayoría que encontramos en el mercado, el área efectiva aumenta al aumentar la presión como lo muestra la siguiente gráfica:



Algunos fabricantes dan la fórmula para corregir por este efecto el cual podría provocar errores de hasta 0,03%.

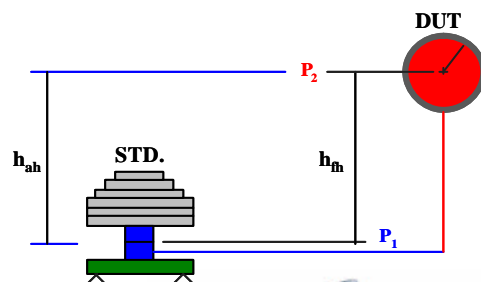
$$A = A_0(1 + b_1 P + b_2 P^2)$$

La temperatura a su vez provoca que el ensamble pistón / cilindro se expanda o se contraiga haciendo variar el área efectiva. Si por ejemplo la temperatura durante una calibración es diferente en 3° C de la temperatura a la que fue calibrada la balanza y el ensamble pistón /cilindro es de carburo de tungsteno, tendríamos un error en el área de 27.3ppm; si este ensamble fuera de acero /bronce el error podría llegar a ser de 90ppm (0,009%).

Otras influencias de presión son:

- Gradientes de presión
- Plano de referencia
- Otras (fugas, vibración, corrientes de aire, magnetismo, electricidad estática y rotación)

Uno de los errores más comunes al calibrar en presión es no corregir por diferencia de altura entre el patrón y el calibrando, enseguida se muestra como corregir esto.



$$P_2 = P_1 - P_h = P_1 - (\rho_f - \rho_a) \cdot h \cdot g_l / g_{std}$$

P_2 = Presión en el calibrando

P_1 = Presión de referencia (patrón)

ρ_f = Densidad del fluido comprimido

ρ_a = Densidad del aire

h = Diferencia de alturas (puede ser negativa o positiva)

g_l = Gravedad local

g_{std} = Gravedad estándar (9,80665 m/s² para kgf)

P_h = Presión debida a la diferencia de alturas.

Considerando todos los factores anteriores , la formula:

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

Se convierte en:

$$P = \frac{\cos \alpha \cdot S_m \cdot (1 - \rho_a / \rho_s)}{A_0 (1 + b_1 P + b_2 P^2) (1 + c(t - t_r))} - P_h$$

Nos podemos dar cuenta entonces que para calibrar con una balanza de pesos muertos, es importante tomar en cuenta y cuantificar todos los factores que la afectan, para que normalmente cumplan con el propósito para el cual fue diseñada, que es el de Patrón de presión.



INGENIERÍA Y METROLOGÍA
EXACTITUD PARA LA CALIDAD

Salvatierra 32-1 bis, Col. San Bartolo Atepehuacan, 07730 México, D.F.
Tel: 5754-3087. Fax: 5586-8393. e-mail: ventas@inymet.com.mx
www.inymet.com.mx