

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DEFORMACIÓN ELÁSTICA EN ENSAMBLES PISTÓN CILINDRO DE BALANZAS DE PRESIÓN TIPO INDUSTRIAL

Pablo Olvera Arana
Centro Nacional de Metrología, CENAM

Resumen

En el ensamble pistón cilindro de una balanza de presión debemos tomar en cuenta el efecto de los cambios dimensionales provenientes de la distorsión elástica causada por la presión a la cual el ensamble es sometido y la cual es función de la presión aplicada. En altas presiones este factor se vuelve crítico y afecta la calibración de la balanza y por lo tanto su determinación es importante para establecer la potencial exactitud de la balanza de presión. Las balanzas de presión industriales normalmente no contemplan la corrección de la presión por este factor, en este documento se presenta una estimación del coeficiente de deformación elástico para balanzas industriales para diferentes alcances de medición, determinado experimentalmente por el método de flotación cruzada.

Introducción

Las balanzas de presión son ampliamente usadas como patrones de presión para la calibración de manómetros u otras balanzas de presión. Cuando el ensamble pistón – cilindro está sometido a presión, el espacio entre pistón y cilindro se incrementa en una cantidad que varía a lo largo de la longitud del ensamble.

Existen comercialmente 2 tipos de balanzas de presión, aquellas que se basan en principios fundamentales para la determinación de la presión y las de tipo industrial, las cuales proporcionan valores de presión predefinidos bajo ciertas condiciones de referencia.

En las balanzas de presión tipo industrial el principio de operación es el mismo que el de las balanzas tipo primario, pero la presión ya está predefinida bajo ciertas condiciones de referencia.

Condiciones de referencia:

Aceleración normal de la gravedad,
 $g_n = 9,806 65 \text{ m/s}^2$

Densidad normalizada del aire, $\rho_{an} = 1,2 \text{ kg/m}^3$

Temperatura de referencia,
 $t_r = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ó $23 \text{ }^\circ\text{C}$

El siguiente modelo se utiliza para el cálculo de la presión y consiste en convertir la presión predefinida bajo las condiciones de referencia establecidas por el fabricante a la presión bajo las condiciones reales en que se efectúan las mediciones. El modelo corrige la presión nominal por aceleración de la gravedad local, temperatura del pistón – cilindro y flotación de las pesas en el aire.

$$p_c = \frac{p_n g_l \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m}\right)}{g_n \left(1 + \alpha_{p-c} (t - t_r)\right) \left(1 - \frac{\rho_{an}}{\rho_m}\right)} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

P_c presión de la balanza industrial corregida.

p_n presión nominal de la balanza bajo las condiciones de referencia.

g_l aceleración local de la gravedad.

ρ_a Densidad del aire al momento de la calibración.

ρ_m Densidad de las masas.

α_{p-c} Coeficiente de expansión térmica del pistón - cilindro.

t temperatura del pistón - cilindro.

t_r temperatura de referencia

Método de calibración de balanzas. Flotación cruzada

Cuando las fuerzas en las dos balanzas de presión han sido ajustadas hasta que ambas están en equilibrio, la relación de sus fuerzas totales representa la relación de sus dos áreas efectivas a esa presión.

Por medio de la calibración se determina experimentalmente, en las balanzas tipo primario, el área efectiva A_0 a presión cero. Se realizan una serie de mediciones a lo largo de su alcance de medición para obtener el área específica del pistón – cilindro calibrado a diferentes presiones. A_0 se obtiene por extrapolación a presión cero.

En la balanza tipo industrial, la calibración por el método de flotación cruzada se utiliza para determinar el error de la balanza y la presión en ésta se calcula de acuerdo a la ecuación 2, sin considerar generalmente el efecto por la deformación elástica.

Coefficiente de deformación elástico

Los cambios en los diámetros del pistón y cilindro, bajo presión aplicada, son muy pequeños y su medición directa en el interior del ensamble es muy complicada.

Para el caso de ciertos tipos de ensambles simples, el efecto de distorsión elástica es una función lineal de la presión aplicada y se puede determinar a partir de las propiedades elásticas de los materiales

En el caso de balanzas tipo industrial con ensamble tipo simple generalmente no se corrige la presión nominal por el efecto de la distorsión elástica del ensamble pistón – cilindro.

Experimentalmente se puede determinar el coeficiente de deformación a partir de los resultados obtenidos en la calibración por el método de flotación cruzada, de acuerdo al modelo presentado en la ecuación No. 2.

$$p = \frac{P_n}{(1 + bp)} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

p es la presión corregida por el coeficiente de deformación elástico,
 P_n es la presión corregida de acuerdo a la ecuación 1,

Despejando b ,

$$b = \frac{P_n - P}{P^2} \quad \text{Ec. 3}$$

Al estimar el coeficiente de deformación elástico, de acuerdo a la ecuación 3 en las balanzas tipo industrial, el modelo para corregir la presión nominal sería:

Ecuación 4

$$P_c^* = \frac{P_n g_l \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m}\right)}{g_n \left(1 + \alpha_{p-c} (t - t_r)\right) (1 + bP_n) \left(1 - \frac{\rho_{an}}{\rho_m}\right)}$$

Resultados

Se analizaron los resultados de varias calibraciones de balanzas industriales.

Las figuras 1, 2, 3, 4, 5 y 6 ilustran los resultados de la calibración de balanzas industriales para diferentes tipos de ensamble. Las series 1 representan el error de acuerdo a la ecuación 4, aplicando la corrección por el coeficiente de deformación. Las series 2 representan el error de acuerdo al modelo correspondiente a la ecuación 1, sin corregir por el coeficiente de deformación elástico.

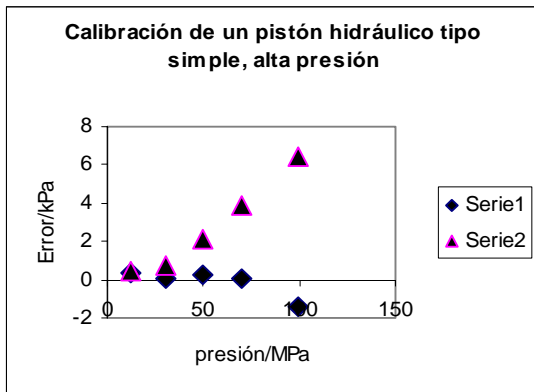


Fig. 1 Aplicación del coeficiente de presión a un ensamble tipo simple, alta presión

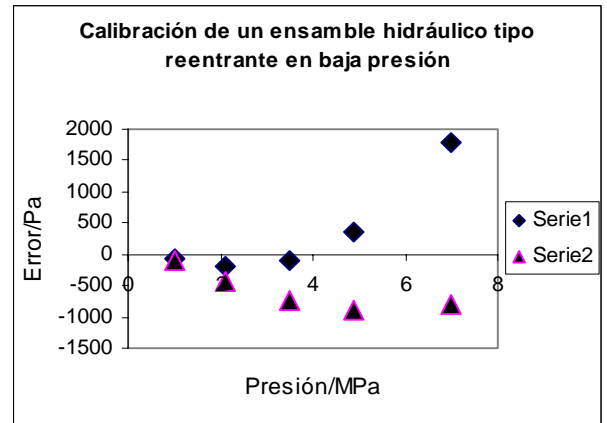


Fig. 4 Aplicación del coeficiente de presión a un ensamble hidráulico tipo reentrante, baja presión

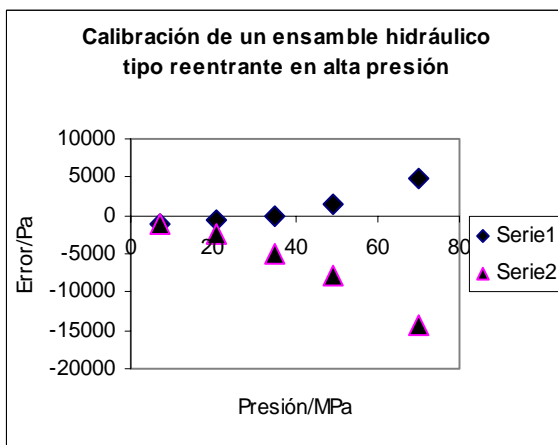


Fig. 2 Aplicación del coeficiente de presión a un ensamble tipo reentrante, alta presión

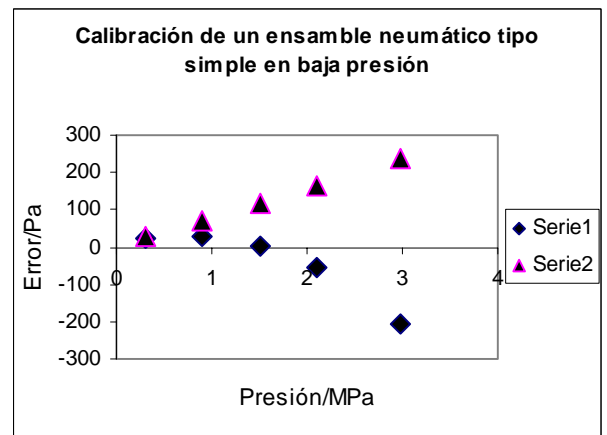


Fig. 5 Aplicación del coeficiente de presión a un ensamble neumático tipo simple, baja presión

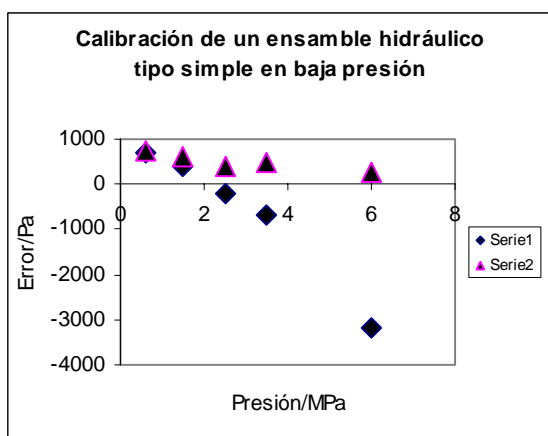


Fig. 3 Aplicación del coeficiente de presión a un ensamble tipo simple, baja presión

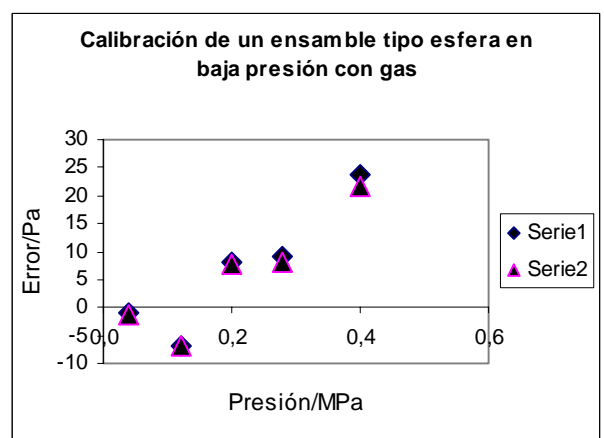


Fig. 6 Aplicación del coeficiente de presión a un ensamble neumático tipo esfera, baja presión

Las figuras 7, 8, 9, 10, 11 y 12 ilustran la variación del coeficiente de deformación a lo largo del intervalo de medición, para diferentes tipos de ensambles.

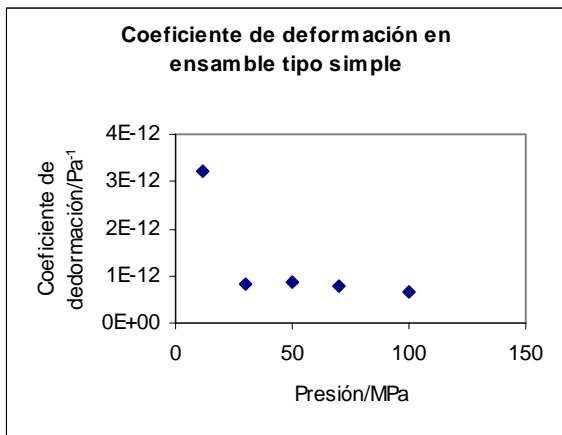


Fig. 7 Coeficiente de deformación en un ensamble tipo simple, alta presión

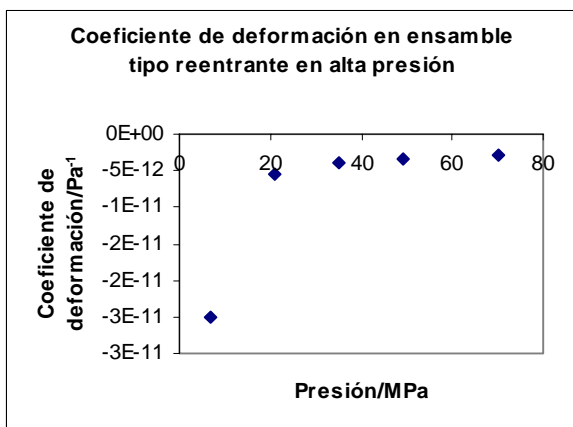


Fig. 8 Coeficiente de deformación en un ensamble tipo simple, alta presión

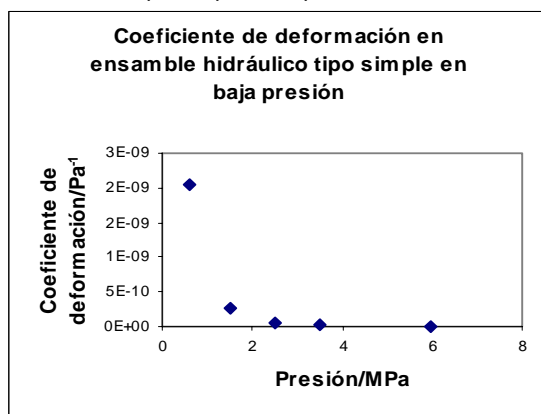


Fig. 9 Coeficiente de deformación en un ensamble tipo simple, baja presión

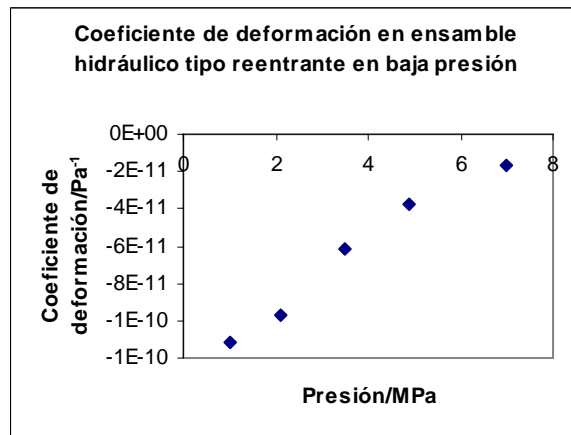


Fig. 10 Coeficiente de deformación en un ensamble tipo reentrante, baja presión

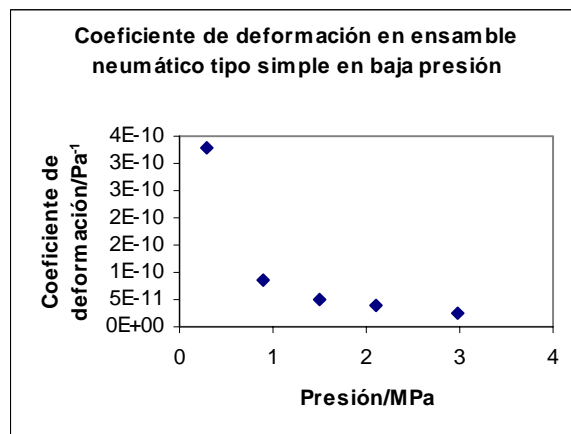


Fig. 11 Coeficiente de deformación en un ensamble tipo simple, baja presión

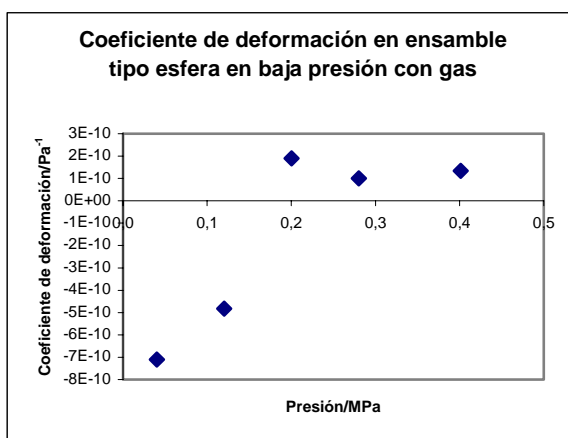


Fig. 12 Coeficiente de deformación en un ensamble tipo esfera, baja presión

La tabla 1 presenta los valores promedio y la desviación estándar de los coeficientes de deformación elástica obtenidos en las mediciones para los diferentes tipos de ensamble:

Tipos de ensamble:

1. Simple, hidráulico, presión a 100 MPa,
2. Reentrante, hidráulico, presión a 70 MPa
3. Simple, hidráulico, presión a 6 MPa
4. Reentrante, hidráulico, presión a 7 MPa
5. Simple, neumático, presión a 3 MPa
6. Simple, esfera, presión a 400 kPa

Tipo de ensamble	Coefficiente de deformación	Desviación estándar
1	$7,8 \times 10^{-13}$	$9,8 \times 10^{-14}$
2	$-3,9 \times 10^{-12}$	$1,1 \times 10^{-12}$
3	$9,7 \times 10^{-11}$	$1,2 \times 10^{-10}$
4	$-5,3 \times 10^{-11}$	$3,5 \times 10^{-11}$
5	$5,0 \times 10^{-11}$	$2,5 \times 10^{-11}$
6	$-1,5 \times 10^{-11}$	$3,1 \times 10^{-10}$

Tabla 1

Conclusiones

De los resultados obtenidos podemos concluir que la corrección por el coeficiente de deformación es recomendada para ensambles de tipo simple y con alcance de medición relativamente alto, alrededor de 70 MPa y el coeficiente de deformación estimado permanece más o menos constante a partir de mediciones mayores al 10 % de su alcance de medición.

La tabla No. 2 presenta la relación, en valor absoluto, entre el coeficiente de deformación del ensamble respecto a su desviación estándar y el tipo de ensamble.

Tipo de ensamble	Relación entre b y su desviación estándar
1	8
2	4
3	0,8
4	1,5
5	2
6	0,05

Tabla 2

En términos generales se recomienda utilizar la corrección del coeficiente de presión cuando la relación entre su valor promedio y su desviación estándar sea mayor a 4.

Otra conclusión a la que podemos llegar es que efectivamente, el efecto de distorsión elástica es una función lineal de la presión aplicada para ensambles tipo simple con alcances de medición relativamente altos, Para ensambles con geometrías más complejas el modelo no es válido. Para las balanzas de presión hidráulicas con ensambles tipo simple, pero con alcance de medición relativamente bajo, alrededor de 7 MPa, el efecto de la fricción provocada por el fluido puede ser muy alto e impide que el coeficiente de deformación permanezca constante ya que la fuerza de fricción no se cuantifica. En el caso de las balanzas neumáticas con ensamble tipo simple, pequeñas irregularidades geométricas pueden provocar un efecto adicional.

Referencias

1. Dadson S. Robert, Lewis L. Sylvia and Peggs N. Graham. The Pressure Balance, Theory and Practice. NPL, 1982.
2. OIML, R-110, Pressure Balance, 1994