

DISEÑO MECÁNICO PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES DE PRESIÓN

Jesús Aranzolo Suárez /Jorge C. Torres Guzmán. Centro Nacional de Metrología (CENAM).

INTRODUCCIÓN.

La magnitud de presión es muy utilizada en diferentes tipos de industrias, así como en situaciones de uso cotidiano en la vida diaria. Algunos ejemplos son la medición de presión en neumáticos, la medición de presión barométrica (o atmosférica), la medición de la presión en reactores nucleares o para la medición de la presión sanguínea en las personas. Los requerimientos de exactitud son variados y pueden ir desde un 10% de la lectura hasta un 0,01%, dependiendo del impacto de la medición en la calidad de los productos o servicios.

Para garantizar que las mediciones de presión realizadas en los procesos sean adecuadas y confiables, es importante que el resultado de cada medición y/o el valor del patrón puedan ser relacionados a referencias determinadas (patrones nacionales), por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones, todas ellas teniendo incertidumbres determinadas.

Estas comparaciones con incertidumbres determinadas son las calibraciones y mediante el análisis de los factores de diseño mecánico que están involucrados en el proceso de calibración de instrumentos de presión, podemos asegurar la confianza en las mediciones obtenidas, así como reducir la dispersión de las lecturas tomadas,

disminuir el tiempo de calibración y mejorar el valor promedio de las lecturas (reducir el error).

En este trabajo se presentan algunas aplicaciones del diseño mecánico en el proceso de calibración de instrumentos de presión, que mejoran las condiciones de operación y/o los resultados obtenidos.

1. ESTUDIO EN BALANZAS DE PRESIÓN.

Para realizar la medición de presión se pueden utilizar manómetros, balanzas de presión o columnas de líquido. Tomando en consideración la estabilidad, repetibilidad y exactitud, el instrumento más adecuado para la calibración de medidores de presión en el alcance de 3,5 kPa hasta 1 GPa son las balanzas de presión.

Las balanzas de presión pueden ser neumáticas o hidráulicas, dependiendo del alcance de medición (para presiones alrededor de la presión atmosférica se utilizan neumáticas). Las balanzas de presión consisten de un juego de masas, un ensamble pistón-cilindro y un recipiente de presión (con accesorios para operación y montaje). Cada balanza de presión puede tener, típicamente, tres ensambles pistón-cilindro para diferentes alcances de medición, normalmente en secuencia y con una relación de 1:10.

Cada ensamble pistón-cilindro cubre un intervalo de presión que depende del área efectiva del mismo. La presión (P) generada en la balanza es igual a la fuerza (F) ejercida por las masas (m) bajo la acción de la gravedad local (g) actuando sobre un área (A), esto es:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \left[1 - \left(\frac{r_a}{r_m} \right) \right] g + gC}{A_0 \left(1 + (a_c + a_p)(t - t_r) \right) (1 + b p_n)}$$

Donde: r_a = densidad local del aire,

r_m = densidad de las masas,

C = circunferencia del pistón,

γ = tensión superficial del fluido manométrico,

A_0 = área efectiva a la temperatura de referencia y a presión atmosférica,

a_c = coeficiente de dilatación térmica del cilindro,

a_p = coeficiente de dilatación térmica del pistón,

t = temperatura del pistón al momento de realizar la calibración,

t_r = temperatura de referencia del pistón,

b = coeficiente de deformación elástica del pistón,

p_n = presión nominal.

Para la calibración de balanzas de presión se tienen 2 alternativas generales de acuerdo a la clase de exactitud de la balanza. Una es la calibración en presión, esto es, para cada masa

de la balanza se asigna un valor de presión. La otra es la calibración de cada masa en masa directamente y utilizando estos valores, se asigna un valor del área del pistón de la balanza.

2. CALIBRACIÓN DE BALANZA HIDRÁULICA CON BALANZA NEUMÁTICA.

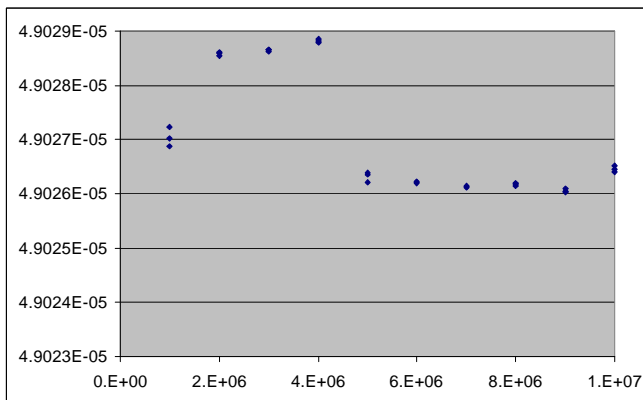
Cuando se calibran las balanzas de presión en área, se grafican las lecturas obtenidas en términos de área para cada presión. Con esta gráfica se obtiene (por extrapolación) el área a presión atmosférica (presión cero).

Se presenta el caso donde por análisis de las posibles variables externas involucradas se mejora la repetibilidad y se disminuye el error en una balanza de presión. Cuando se realiza flotación cruzada entre 2 balanzas siendo una hidráulica y la otra neumática, se utiliza una interfase mecánica entre los 2 fluidos (ver fotografía siguiente).



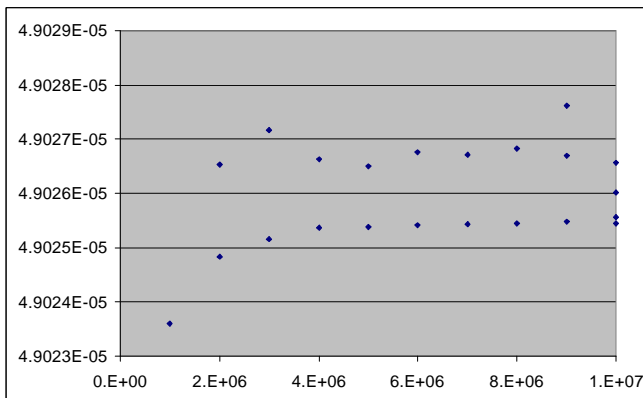
Flotación cruzada o calibración de balanza con balanza utilizando interfase mecánica.

En la siguiente gráfica se presentan los resultados de las lecturas para el procedimiento normal, en la calibración de una balanza de presión en área con uso de interfase mecánica.



Gráfica para la determinación de área efectiva en una calibración utilizando interfase mecánica.

La primera opción de mejora estudiada se realizó al extender el tiempo de toma de lecturas con el objeto de permitir la estabilización de la fase líquido - gas en la interfase mecánica. La gráfica resultante se muestra a continuación.



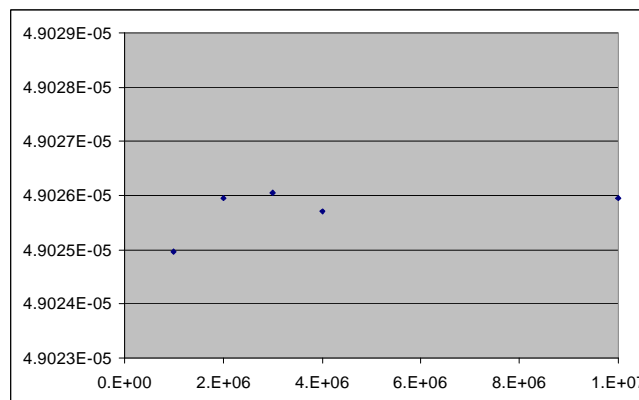
Gráfica para la determinación de área efectiva en una calibración utilizando interfase mecánica y permitiendo estabilización de la interfase.

Durante la operación de la balanza, se notó que el motor que hace girar al pistón, introduce ruido en la medición. Por lo que, siguiendo el mismo caso, se eliminó el uso del motor realizando el giro en forma manual. En la fotografía siguiente se muestra la banda del motor colocada.



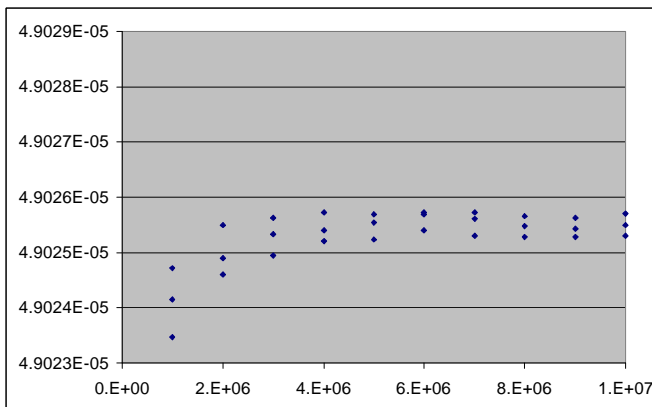
Poste de montaje del pistón cilindro con banda del motor colocada.

Los resultados sin usar el motor se presentan, para la misma calibración, en la gráfica siguiente.



Gráfica para la determinación de área efectiva en una calibración sin usar el motor.

Para determinar el punto de equilibrio entre las 2 balanzas se utiliza una marca del nivel donde deben flotar los pistones (nivel de referencia). En la calibración, se busca el punto donde los pistones de las 2 balanzas se encuentran en su nivel de referencia y en esa situación se toma la lectura. Una alternativa considerada fue, medir la velocidad de caída del pistón. Los resultados encontrados se presentan a continuación.



Gráfica para la determinación de área efectiva sin usar el motor y tomando lecturas de acuerdo a la velocidad de caída del pistón.

3. CALIBRACIÓN DE BALANZA HIDRÁULICA CON BALANZA HIDRÁULICA (a 500 MPa).

Las balanzas están dotadas de un brazo indicador del nivel de flotación. Es un brazo de palanca equilibrado que tiene en un extremo una aguja indicadora y en el otro extremo un imán para adherirse (sin inducir cargas) al portamasas.

La base de este diseño es el considerar que el brazo de palanca esta equilibrado. Para comprobar el diseño original, se realizaron pruebas de equilibrio en el brazo y mediciones



Brazo indicador del nivel de flotación desmontado.

Este caso es en alta presión, donde no es posible eliminar el uso del motor de giro ya que el

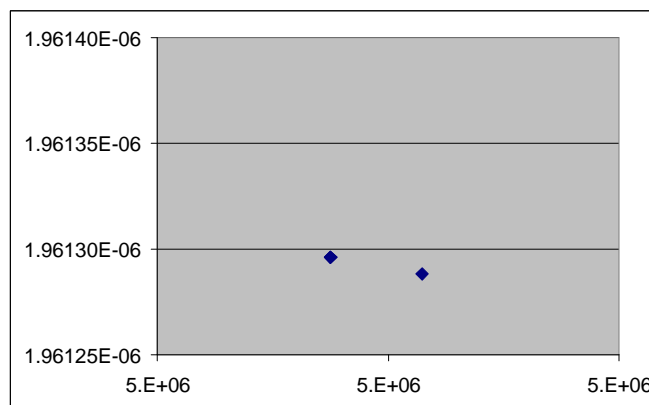
diámetro del pistón es muy pequeño y el material del pistón (acero inoxidable) a esta área transversal es frágil para la carga soportada, lo que hace muy peligroso el realizar rotación en forma manual (puede fracturarse el pistón).

A continuación se presentan fotografías del brazo fuera de la balanza y de la aguja del brazo estando instalado.

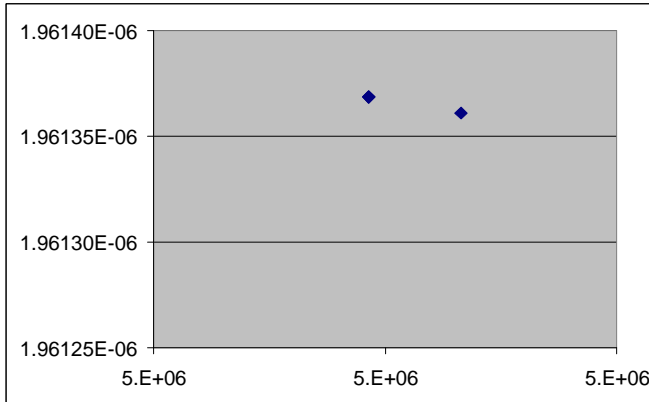


Aguja indicadora del brazo, instalado en la balanza.

Al realizar el equilibrio del brazo de palanca, se encontró una diferencia de masa de 40 mg.



Gráfica para la determinación de área utilizando el brazo indicador de nivel de flotación (normal).



Gráfica para la determinación de área efectiva sin el brazo indicador de nivel de flotación.

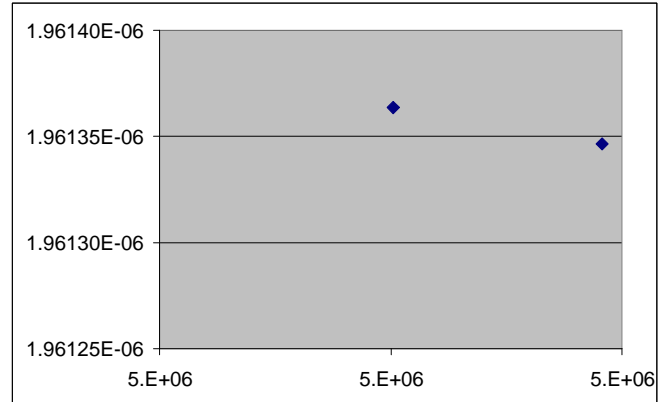
La diferencia de área presentada en las calibraciones con y sin brazo instalado es de $8 \times 10^{-11} \text{ m}^2$, ver las 2 gráficas anteriores. Este valor coincide con la diferencia de masa encontrada en el equilibrio del brazo de palanca.

Para la misma calibración, se estudió el efecto de la posición del poste de empuje para rotación del pistón en los resultados de la calibración.



Poste de empuje para rotación del pistón.

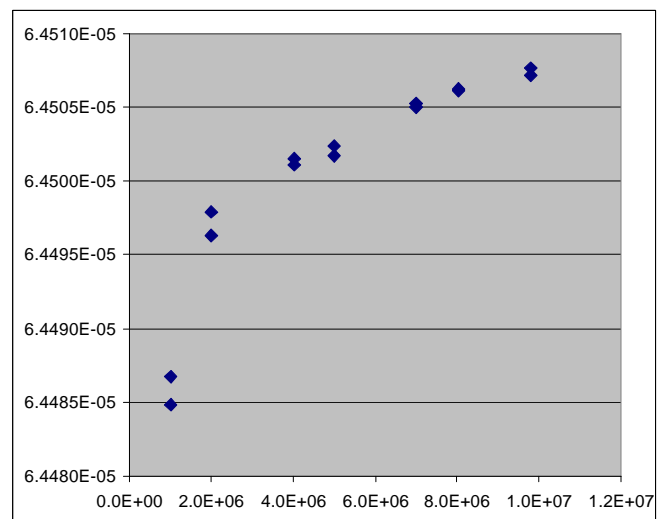
Para evaluar su efecto se rotó 180° realizándose mediciones que se grafican a continuación.



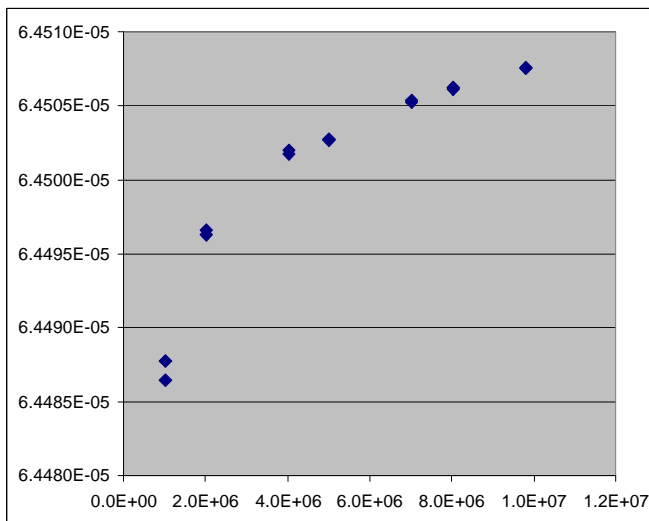
Gráfica para la determinación de área efectiva sin el brazo indicador de nivel de flotación girando el poste de empuje 180° .

4. CALIBRACIÓN DE BALANZA NEUMÁTICA CON BALANZA NEUMÁTICA.

Se estudio la rotación del pistón realizando calibraciones rotando el pistón a favor de las manecillas del reloj y en sentido contrario a las manecillas. Los resultados se presentan en las dos gráficas siguientes.



Gráfica para la determinación de área efectiva rotando contra el sentido de las manecillas del reloj el pistón cilindro (normal).



Gráfica para la determinación de área efectiva rotando en el sentido de las manecillas del reloj el pistón cilindro.

Nótese que las variaciones existentes entre las dos calibraciones no son apreciables, en el orden de cifras utilizadas, incluso tomando un número mayor al normal de mediciones (14).

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES.

Las aplicaciones del diseño mecánico en la mejora de la trazabilidad de las mediciones de presión son muy amplias. Como se pudo apreciar, en el primer caso (sección 2) de calibración de balanzas hidráulica con neumática, cada una de las tres alternativas estudiadas mejoraron el error y la repetibilidad de la calibración.

En el caso de calibración de balanza hidráulica con balanza hidráulica (sección 3), el primer estudio del brazo indicador del nivel de flotación resultó en una mejora en el error encontrado. Sin embargo, en el caso de la posición angular del

poste de empuje para rotación del pistón el cambio es despreciable.

De la misma forma, analizando los resultados de la calibración de balanza neumática con balanza neumática (sección 4), el cambio de sentido de giro del pistón para su calibración no tiene efecto perceptible en la determinación del área efectiva.

Con los resultados obtenidos podemos concluir que corresponde no solo al diseñador de equipo de presión asegurar las condiciones óptimas del diseño, sino al metrólogo revisar y asegurar la confiabilidad de las partes del equipo y su diseño óptimo para no introducir errores no corregidos en las mediciones.

Este trabajo presenta una simplificación de la metodología de análisis de variaciones con respecto al diseño mecánico original y algunos ejemplos de casos de estudio realizados en el CENAM para el aseguramiento de la calidad de las mediciones.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se recomienda realizar estudios de varias partes de los equipos de medición y sistemas mecánicos involucrados con influencia en el error o la incertidumbre de las mediciones de presión. Casos importantes que se deben incluir son: los apoyos de la balanza (normalmente se utilizan 4 apoyos estáticos, se prevé una mejora al utilizar 3 apoyos cinemáticos), la mesa de trabajo (rigidez adecuada) y la medición del nivel de flotación del pistón (nivel de referencia de la balanza) entre otros.