

CARACTERIZACIÓN DE UNA BALANZA DE PRESIÓN HIDRÁULICA TIPO INDUSTRIAL CON DOS PISTONES (7 000 kPa y 70 000 kPa)

Torres Guzmán J. C., Verdejo Guerrero Y. C., Aranzolo Suárez J.

Centro Nacional de Metrología, CENAM

km 4.5 carretera a Los Cués, El Marqués, Querétaro, México

(52) 442 211 0500, fax (52) 442 211 0578 jtorres@cenam.mx; yverdejo@cenam.mx; jaranzol@cenam.mx

Resumen. Se presentan los resultados de la caracterización de una balanza de presión hidráulica de tipo industrial (baja exactitud), marca Ametek. Se analizaron dos intervalos de medición, 100 kPa a 7 000 kPa y 1 000 kPa a 70 000 kPa. Se describen las pruebas operativas y las calibraciones realizadas, utilizando para el intervalo de baja presión agua destilada y aceite como fluido manométrico; en alta presión sólo se utilizó aceite. Se mencionan las adaptaciones que se realizaron al poste de montaje de la balanza, así como las recomendaciones sugeridas para que cumpla con características de una balanza de alta exactitud.

1. INTRODUCCIÓN

A principios del siglo XIX aparecieron balanzas de presión rudimentarias y a finales fueron realizados mejores maquinados de pistones y cilindros permitiendo mediciones con mayor exactitud. Se han hecho innovaciones a las balanzas para cubrir varios intervalos de medición en presión absoluta y relativa. La exactitud de las balanzas de presión es insuperable.

La esencia de una balanza de presión es el ensamble pistón cilindro, el cual debe tener un pequeño huelgo para que se mueva libremente uno dentro del otro, al mismo tiempo que se evita la pérdida de presión por escape del fluido manométrico entre sus superficies.

Al utilizar una balanza de presión es necesario conocer sus características de operación (incluyendo las magnitudes de influencia) y la información de su calibración (error e incertidumbre).

2. DESCRIPCIÓN DE LA BALANZA DE PRESIÓN

La balanza de presión caracterizada es hidráulica con ensamble pistón cilindro (p-c) tipo re-entrante; con fluido manométrico agua destilada o aceite. Se realizaron las pruebas y calibración en los siguientes intervalos: a) de 100 kPa a 7 000 kPa con el pistón cilindro 43243 y b) desde 1 000 kPa hasta 70 000 kPa con el pistón cilindro 43237.

Marca	AMETEK M&G
Modelo	TQD-70000N
Número de serie	100187
Intervalo de medición	100 kPa a 7 000 kPa 1 MPa a 70 MPa
Exactitud	0.1 % L.
Tipo de ensamble p-c	Tipo re-entrante
Material del ensamble p-c	Carburo de tungsteno
Tipo de fluido manométrico	Aceite Mexlub Husillos AA, o Agua Destilada

Tabla 1. Especificaciones de la balanza caracterizada.

3. MONTAJE E INSTALACIÓN

Es importante señalar que se le adaptó a la balanza un termómetro en el poste para monitorear la temperatura del pistón. También, se rotularon individualmente las masas con el objeto de identificarlas. Por otra parte, los pistones se midieron para determinar su nivel de referencia de flotación y se compararon con los que proporciona el fabricante. Finalmente, se marcó el nivel de flotación al poste de la balanza.

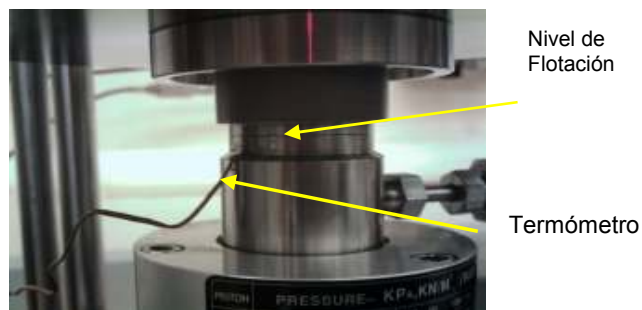


Figura 1. Nivel de flotación y termómetro en el poste.

3.1 Limpieza del ensamble pistón cilindro

Antes de realizar una calibración se lava el pistón para asegurar que no tiene suciedad que detenga el libre giro del pistón. El tiempo de giro proporciona una indicación de la limpieza, siempre y cuando la integridad del pistón sea adecuada (sin golpes o deformación). La limpieza se hace con jabón neutro y agua, o se puede utilizar alcohol, éter de petróleo y/o acetona, con papel óptico.

3.2 Instalación del pistón

Una vez limpio el pistón, se genera presión en la balanza dejando que el fluido manométrico suba hasta la parte superior del poste, se sigue generando presión hasta que dejen de aparecer burbujas en la parte superior del poste de montaje. Se instala el cilindro y posteriormente se introduce el pistón dentro del cilindro.



Figura 2. Ensamble del pistón cilindro en el poste de montaje y con el porta masas.

3.3 Purgado

Es importante mencionar que el objetivo del purgado es que no quede ninguna burbuja de gas en los conductos y demás conexiones. El purgado se realiza en dos partes, primero en una conexión intermedia entre las dos balanzas de presión donde se pueda purgar. Se cierra cualquier válvula de las balanzas, se abre el punto donde se va a purgar, se genera presión con la balanza que tiene la válvula abierta y se deja que salga el líquido hasta que no aparecen burbujas. Después se realiza la misma operación, ahora cerrando la válvula que estaba abierta y abriendo la que estaba cerrada generando presión con la otra balanza.

3.4 Hermeticidad

Para el buen funcionamiento del sistema se requiere evitar fugas de fluido en los conductos y conexiones. Para detectar fugas, se genera en la balanza la máxima presión y se observa si sucede una caída de presión brusca o se genera algún derrame de fluido. Esta prueba se realizó usando como fluido manométrico aceite, sin encontrar fugas o caída de presión anormal.

4. PRUEBAS OPERATIVAS

Se realizaron las siguientes pruebas operativas (cuando menos 3 veces y observando el máximo valor) en la balanza: a) nivelación; b) tiempo de giro libre; c) velocidad de caída del pistón; d) estabilización del pistón cilindro; e) cambios en la flotación; f) medición del bamboleo o balanceo; g) excentricidad.

La figura 3 muestra la esquematización de los desplazamientos de la vertical de pistón y campana.

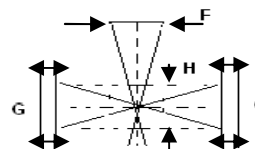


Figura 3. Pruebas realizadas. F) excentricidad, G) balanceo o bamboleo, H) estabilización del pistón.

4.1 Nivelación

Para asegurar una nivelación adecuada la balanza se monta sobre una base isostática. Se coloca un nivel de alta exactitud sobre el poste de montaje del ensamble pistón cilindro y se nivela; esta operación se repite en cada punto de medición.

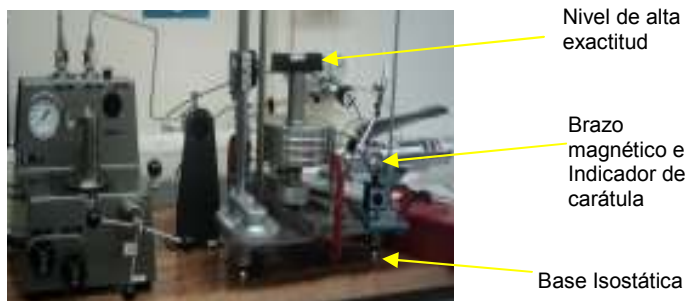


Figura 4. Nivelación de la balanza en cada punto, utilizando un nivel de alta exactitud y una base isostática.

4.2 Tiempo de giro libre y velocidad de caída del pistón.

El tiempo de giro libre se mide en cada presión obtenida y se determina midiendo el tiempo que tarda en detenerse el conjunto de masas y pistón al dejarlo en giro libre, iniciando en 20 ciclos/minuto.

La velocidad de caída del pistón se determina en cada presión obtenida utilizando un medidor de alturas. Se inicia la medición en la parte superior del nivel de flotación y se toma el tiempo hasta llegar a la parte inferior (iniciando con una velocidad de rotación de 20 ciclos/minuto).

4.3 Estabilización del pistón cilindro

La estabilización es el movimiento en el eje vertical del pistón a presión constante. Se mide utilizando un indicador de carátula en cada presión aplicada.

4.4 Medición del bamboleo o balanceo

El balanceo es la inclinación o movimiento asimétrico en el eje vertical del pistón. Se mide utilizando un indicador de carátula en cada presión.

4.5 Medición de excentricidad

Es el “cabeceo” del ensamble pistón cilindro, se mide en todo el intervalo de medición de la balanza. Estas pruebas se realizaron primero para baja presión utilizando agua y después utilizando aceite; para alta presión sólo se utilizó aceite.

5. RESULTADOS DE PRUEBAS OPERATIVAS

Dado que el valor crítico es el extremo no se detalla la variabilidad de las pruebas en los resultados presentados a continuación.

5.1 Pistón cilindro 43243 (baja presión) utilizando aceite como fluido manométrico

Presión	Capacidad de nivelación	Excen-tricidad	Balan-ceo	Estabili-zación del pistón	Tiempo de giro libre	Velocidad de caída del pistón
kPa		0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	min	mm/min
700		16	85	17	1.1	0.5
1 000		58	93	70	0.8	1.2
2 000		50	94	38	1.3	0.3
3 000		25	91	59	1.9	0.6
4 000		17	70	20	2.4	0.8
5 000		36	60	25	> 8	0.8
6 000		42	24	50	> 5	1.0
7 000		25	56	54	> 5	1.1

Tabla 2. Resultados en baja presión utilizando aceite.

5.2 Pistón cilindro 43243 (baja presión) utilizando agua destilada como fluido manométrico.

Presión	Capacidad de nivelación	Excen-tricidad	Balan-ceo	Estabili-zación del pistón	Tiempo de giro libre	Velocidad de caída del pistón
kPa	Divisiones	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	min	mm/min
700	4	64	88	36	1.96	0.55
1 000	3.5	34	40	92	7.12	0.10
2 000	4	60	48	32	9.42	0.11
3 000	5	80	65	60	8.10	0.13
4 000	5	91	93	70	9.43	0.18
5 000	3.5	90	76	70	12.02	0.18
6 000	0	53	93	75	10.42	0.18
7 000	5	73	93	80	9.70	0.18

Tabla 3. Resultados en baja presión utilizando agua destilada.

5.3 Pistón cilindro 43237 (alta presión) utilizando aceite como fluido manométrico.

Presión	Capacidad de nivelación	Excen-tricidad	Balan-ceo	Estabili-zación del pistón	Tiempo de giro libre	Velocidad de caída del pistón
MPa	Divisiones	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	min	mm/min
7	4	3	58	79	> 5	0.73
10	3	32	42	80	> 10	0.06
20	3	23	88	35	> 10	1
30	1	30	70	51	> 10	0.19
40	2	62	92	43	> 10	0.28
50	5	35	43	60	> 13	0.29
60	2	15	85	51	8.72	0.34
70	4	8	83	16	5.77	0.23

Tabla 4. Resultados en alta presión utilizando aceite.

6. RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

Una vez realizadas las pruebas operativas, se utilizaron las mejores condiciones para realizar varias calibraciones de la balanza con el objetivo de conocer el error y la incertidumbre a varias presiones y bajo diferentes condiciones: *i)* en baja presión del pistón cilindro 43243 con masas iguales en cada punto; *ii)* en baja presión del pistón cilindro 43243 con masas combinadas en cada punto; *iii)* en alta presión del pistón cilindro 43237 con masas combinadas en cada punto.

Los incisos del 6.1 al 6.3 presentan los resultados obtenidos de las calibraciones de la balanza con una de alta exactitud. El error de la balanza se calcula restando la medición de presión obtenida menos el valor de referencia de la balanza patrón.

6.1 Calibración en baja presión del pistón cilindro 43243 con masas iguales en cada punto.

Se realizó una calibración repitiendo las mismas masas para la misma presión (en varias lecturas o series) obteniendo la gráfica de la presión nominal a condiciones normalizadas (20 °C temperatura ambiente; 9.806 65 m/s² atracción gravitacional local y 101.325 kPa presión atmosférica) del pistón cilindro contra el error, se muestra en la figura 5.

Intervalo de medición: 100 kPa a 7 MPa.
Intervalo de medición calibrado: 700 kPa a 7 MPa.
Fluido manométrico utilizado: aceite.

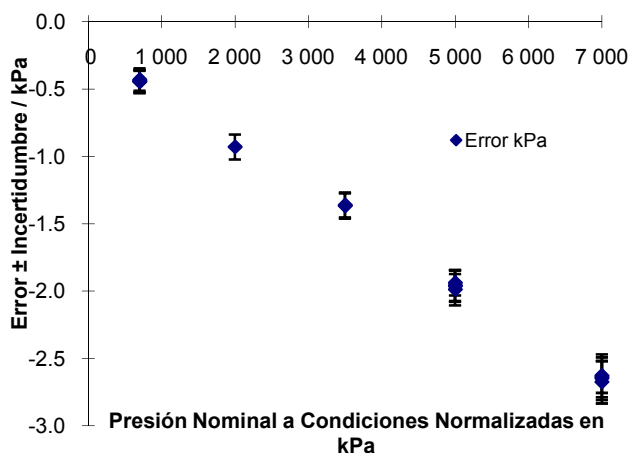


Figura 5. Presión nominal a condiciones normalizadas del pistón cilindro contra el error. Utilizando aceite y con las mismas masas.

Resultado	% de L.
Error Máximo	-6.3×10^{-2}
Incertidumbre Expandida	7.3×10^{-3}

Tabla 5. Valores máximos encontrados en la calibración.

6.2 Calibración en baja presión del pistón cilindro 43243 con masas combinadas en cada punto.

Se realizó una calibración combinando masas. El resultado se presenta, presión nominal a condiciones normalizadas del pistón cilindro contra error, figura 6.

Intervalo de medición: 100 kPa a 7 MPa.
Intervalo de medición calibrado: 700 kPa a 7 MPa.
Fluido manométrico utilizado: aceite.

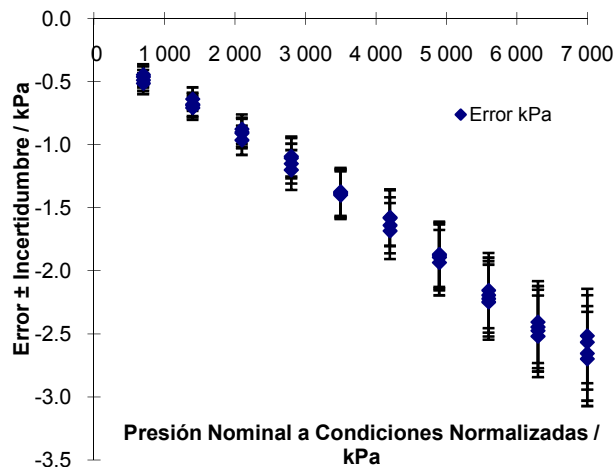


Figura 6. Presión nominal a condiciones normalizadas del pistón cilindro contra el error. Utilizando aceite con combinación de masas.

Resultado	% de L.
Error Máximo	-6.8×10^{-2}
Incertidumbre Expandida	1.2×10^{-2}

Tabla 6. Valores máximos de la calibración.

Los datos anteriores fueron ajustados por medio de una curva de ajuste (utilizando mínimos cuadrados) y los resultados corregidos se presentan en la fig. 7.

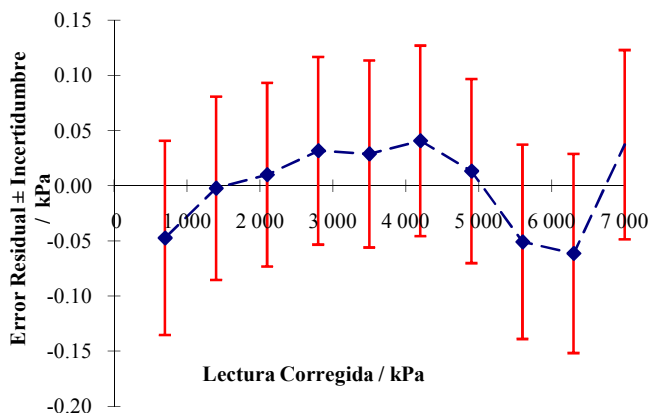


Figura 7. Lectura corregida a condiciones normalizadas contra el error residual. Utilizando aceite con combinación de masas.

6.3 Calibración en alta presión del pistón cilindro 43237 con masas combinadas en cada punto.

Se realizó una calibración repitiendo las mismas masas. La figura 8 muestra la presión nominal a condiciones normalizadas del pistón cilindro vs el error.

Intervalo de medición: 1 000 kPa a 70 MPa.
Intervalo de medición calibrado: 7 000 kPa - 70 MPa.
Fluido manométrico utilizado: aceite.

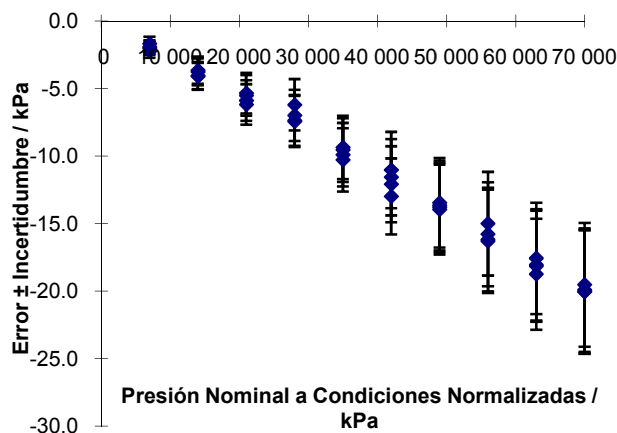


Figura 8. Presión nominal a condiciones normalizadas del pistón cilindro contra error. Utilizando aceite.

Resultado	% de L.
Error Máximo	-2.9×10^{-2}
Incertidumbre Expandida	7.2×10^{-3}

Tabla 7. Valores máximos de la calibración.

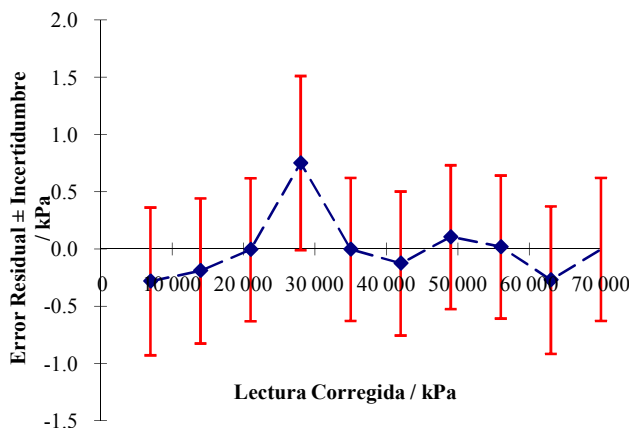


Figura 9. Lectura corregida a condiciones normalizadas vs el error residual. Utilizando aceite.

Resultado	% de L.
Error Máximo	-4.0×10^{-3}
Incertidumbre Expandida	9.2×10^{-3}

Tabla 8. Valores máximos de la calibración.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la calibración en presión y por reproducibilidad de la balanza (figura 6 y 8) se utilizaron diferentes masas en cada punto (o presión seleccionada). Con este estudio se puede utilizar la balanza como un manómetro, para lo cual se realizó la corrección por la mejor curva de ajuste (mediante mínimos cuadrados) obtenida en las calibraciones; las gráficas de error residual utilizando las ecuaciones de ajuste se presentan en las figuras 7 y 9.

Se observó que al hacer la reproducibilidad (con diferentes masas en cada presión) se aumentó un 60% la incertidumbre en comparación con la repetibilidad (mismas masas para cada presión); el error es muy similar en ambas pruebas. En la figura 10 se muestra una comparativa de las curvas de error e incertidumbre para ambas pruebas.

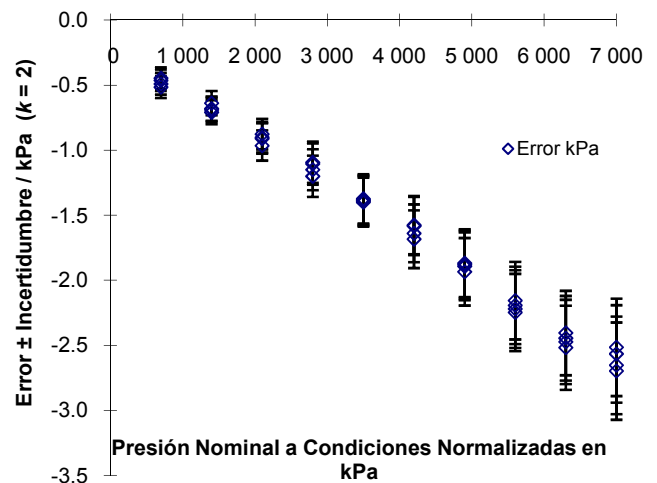


Figura 10. Comparación de la repetibilidad y reproducibilidad en baja presión. Utilizando aceite.

En el pistón de baja presión, inicialmente se utilizó agua destilada como fluido manométrico (de acuerdo a indicaciones del fabricante) y se realizaron las pruebas de excentricidad, balanceo, estabilización del pistón, tiempo de giro libre y velocidad de caída para cada presión. Se observó que el tiempo de giro era poco y se tomó la decisión de usar aceite husillos AA, observando que el

tiempo de giro aumento considerablemente y la velocidad de caída fue menor.

En comparación, usando agua sólo se mejora en la excentricidad y en la estabilización del pistón. El balanceo fue similar al realizar ambas calibraciones.

Debido al mejor comportamiento observado en la balanza utilizando aceite como fluido manométrico, para las pruebas con el pistón de alta presión se tomó la decisión de sólo utilizar aceite como fluido manométrico.

Como se puede observar en las tablas 2 y 4 el pistón 42237 (alta presión) se comportó mejor que el pistón 43243 (baja presión) utilizando aceite como fluido manométrico se realizaron las pruebas de excentricidad, balanceo, estabilización del pistón y tiempo de giro libre. En la prueba de velocidad de caída en baja presión tuvo menor velocidad de caída que en alta presión.

8. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

Aun cuando el fabricante recomienda la utilización de agua como fluido manométrico el uso de aceite Mexlub husillo AA mejoró significativamente el comportamiento de la balanza al permitir más tiempo de rotación y menor caída del pistón. Lo que permite realizar de mejor manera mediciones de flotación cruzada.

En general los resultados de las mediciones en baja presión se mejoran al utilizar aceite como fluido manométrico en lugar de agua destilada (como recomienda el fabricante) especialmente en la velocidad de giro y la velocidad de caída del pistón. Las pruebas a alta presión sólo se realizaron con aceite Mexlub husillo AA y los resultados nos reflejan que el comportamiento de la balanza es mucho mejor que en baja presión.

En este artículo se desarrolló la calibración, incluyendo en el resultado una curva de ajuste para alta y baja presión (mediante mínimos cuadrados) lo que permite la utilización de la balanza como si fuera un manómetro. Por otra parte, al manejar en la calibración diferentes combinaciones de masas en cada punto de medición se incluye la variación en masa de las pesas de la balanza.

Debido a la mejora en el comportamiento de la balanza industrial con las recomendaciones indicadas aquí, se tiene la posibilidad de utilizarla como balanza de alta exactitud. Para este fin, se

recomienda la calibración de los pistones en área efectiva para alta y baja presión.

REFERENCIAS

- [1] Torres Guzmán Jorge C., Olvera Pablo. Balanzas de Presión. Publicación Técnica del CENAM. CNM-MMF-PT-003. Septiembre de 2005.
- [2] Torres Guzmán Jorge C., Aranzolo Suárez Jesús. Caracterización de una balanza de presión relativa hidráulica de alta exactitud. I CIMMEC. Rio de Janeiro, Brasil. 2008.
- [3] Zuñiga González S., Olvera P., Torres Guzmán J. C. Caracterización de un manómetro diferencial digital usado como patrón de transferencia a 3.5 kPa. Simposio de Metrología del CENAM. Querétaro, México. 2008.