

**Patrón Primario para presión neumática
en modo diferencial con incertidumbre
total de hasta 0,01 Pa.**

prima process metrology 

Problemas asociados a la calibración de muy bajas presiones

- Tarea difícil debido a la dificultad de controlar una presión estable.
- La estabilidad de la presión es proporcional a la estabilidad de la temperatura.
- La temperatura de todos los componentes conectados como del patrón, el equipo a calibrar, las tuberías, las válvulas, y la bomba.
- Las corrientes de aire del aire acondicionado, puertas y ventanas.
- Los patrones actuales primarios (referencia máxima) no son tan primarios como una balanza convencional.

Arnstein Ovredal - Prima Process Metrology, S.L.U.



Patrones primarios y su trazabilidad

- La balanza de presión convencional con pistón de diámetro grande (ej. 20 – 50 mm) suele tener un límite inferior de entre 3500 – 5000 Pa.
- La columna de mercurio no es un patrón práctico y su trazabilidad es difícil de conseguir. También es problemático medir la altura de la columna.
- Las balanzas tipo “flujo constante” (ej. Ametek PK, V1600, FPG8601) tienen parámetros influyentes no fáciles de cuantificar y su trazabilidad suele necesitar su comparación con una balanza convencional.
- Las columnas de aceite de silicona o de agua tienen problemas de inestabilidad de la densidad del fluido, evaporación, adsorción, tensión superficial, temperatura, etc.



Patrón basado en la balanza convencional

- Para que funcione bien una balanza convencional a presiones muy bajas, el diámetro del pistón debe ser grande.
- La masa del pistón debe ser la más baja posible y también la masa total cargada sobre el pistón.
- La columna de masa debe generar el máximo par giratorio sin generar efectos aerodinámicos.
- La lubricación del conjunto pistón-cilindro con aire o nitrógeno disminuye la fricción cuando hay más "hueco" entre el pistón y el cilindro.
- El pistón diseño "campana" parece que funciona mejor que un pistón – cilindro "normal" debido a que flota sobre un "colchón de aire" mucho más grande.



Conjunto pistón-cilindro con las características deseadas

- En el mercado actual no hay ningún modelo de conjunto pistón-cilindro de estas características.
- En mi trabajo en laboratorio acreditado NAMAS (ahora UKAS) en el Reino Unido teníamos una balanza patrón convencional CEC Bell & Howell modelo 6-201 Primary Pressure Standard, capaz de mantener las presiones muy estables sobre el rango de 0,3 ... 5 psi (20 ... 350 hPa)
- National Physical Laboratory, tenía el mismo modelo y un banco con dos bases originales del fabricante preparado para la comparación de los conjuntos pistón-cilindro tanto en modo relativo como en modo absoluto.
- La base original del fabricante tenía varios defectos como que no era posible medir la temperatura del pistón y había un efecto aerodinámico entre la base y el pistón cuya magnitud dependía de la velocidad de rotación de las masas.

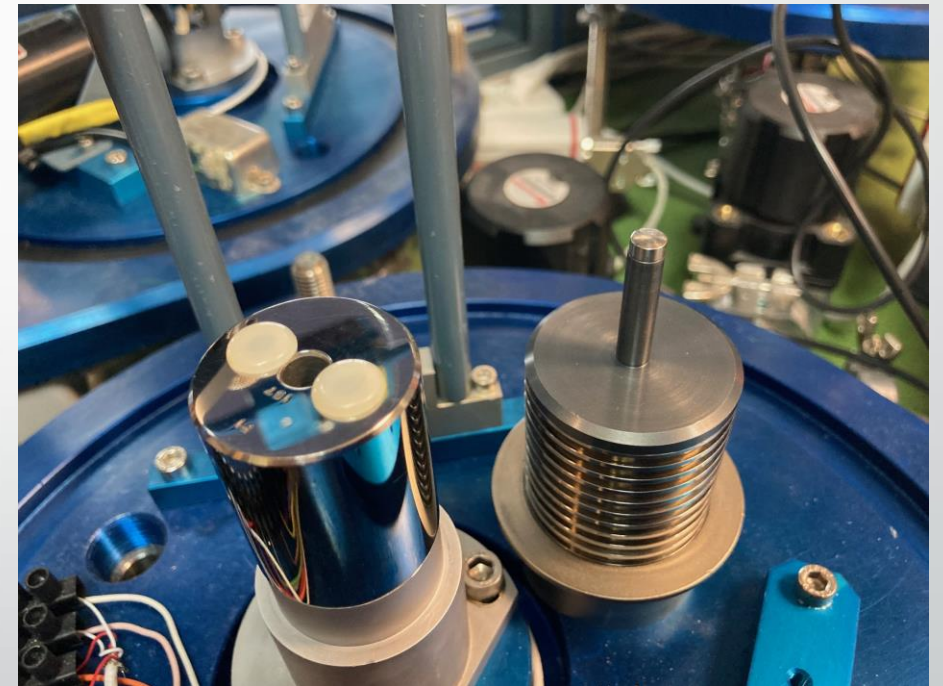
Arnstein Ovredal - Prima Process Metrology, S.L.U.



LEVELING THE 6-201-0001 PRIMARY PRESSURE STANDARD

Modelo CEC Bell & Howell Primary Pressure Standard

- El conjunto pistón-cilindro con rango de 0,3 ... 5 psi (20 ... 350 hPa) y diámetro grande (32 mm) era el tipo de dispositivo que tenía las características que necesitaba para construir un patrón para bajas presiones.
- El pistón de este modelo es una campana cilíndrica hembra y el cilindro un "pistón" así que la configuración es opuesta a la habitual. La campana es de peso muy ligero (aprox. 170 g) y construido de acero inoxidable y aluminio que también le da una densidad baja.
- El fabricante había desaparecido al principio de los años 80 y para conseguir ese modelo empecé a buscar unidades usadas por internet y encontré el primero en Canadá.



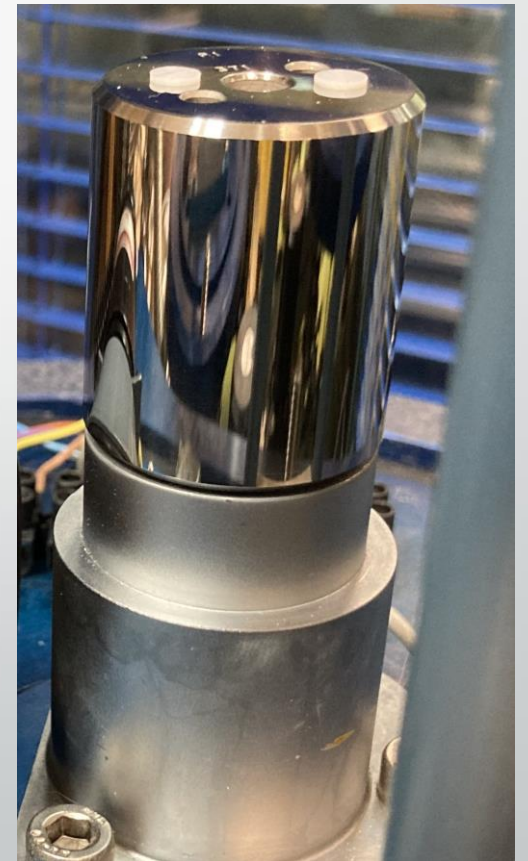
Modelo CEC Bell & Howell Primary Pressure Standard

- Los resultados con la primera unidad adquirida eran tan buenos que decidí a comprar todas las unidades que podría encontrar en el mercado segunda mano y actualmente disponemos de 9 unidades del rango de 20 ... 350 hPa.
- Son todos fabricados entre 1960 y 1981 (40 – 60 años de antigüedad).



Construcción de nueva base prototipo

- Aprovechando solo los componentes originales que necesitaba para el soporte del conjunto pistón-cilindro, diseñé una base nueva con campana de cristal para permitir el uso en modo absoluto y relativo.
- En el soporte para el pistón que es de latón (excelente conductor térmico) fue taladrado un pozo para permitir la introducción de un sensor PT100 de precisión de 3 mm de diámetro y 50 mm de longitud.
- El sensor de temperatura permite su calibración por inmersión en líquido y sus características determinadas con incertidumbre muy baja.
- En la base se puede conectar varios sensores de vacío para la caracterización de la presión residual con incertidumbre reducida.



Construcción de nueva base prototipo

- Para la medición de la posición de flotación del pistón de las balanzas, empleamos medidor de tecnología láser.
- El sistema laser da lecturas calibradas en micrómetros por puerto de comunicación RS232 de alta velocidad.
- Tiene “infinitamente” mejor precisión y linealidad que los sensores inductivos o capacitivos habituales en las balanzas comerciales .

Arnstein Ovredal - Prima Process Metrology, S.L.U.



Medición en modo diferencial con dos conjuntos pistón-cilindro

- Debido a que con solo un conjunto pistón-cilindro, la presión mínima que se puede medir es de 2000 Pa, es necesario usar 2 conjuntos pistón-cilindro y medir la diferencia entre ellos para medir presiones más pequeñas.
- Primero se hizo una calibración por el método de “flotación cruzada” entre dos conjuntos pistón-cilindro sobre todo el rango de 2000 ... 35000 Pa.
- La trazabilidad del área efectiva previamente fue realizado mediante varias calibraciones en laboratorio acreditado ISO17025 en Holanda.

Arnstein Ovredal - Prima Process Metrology, S.L.U.



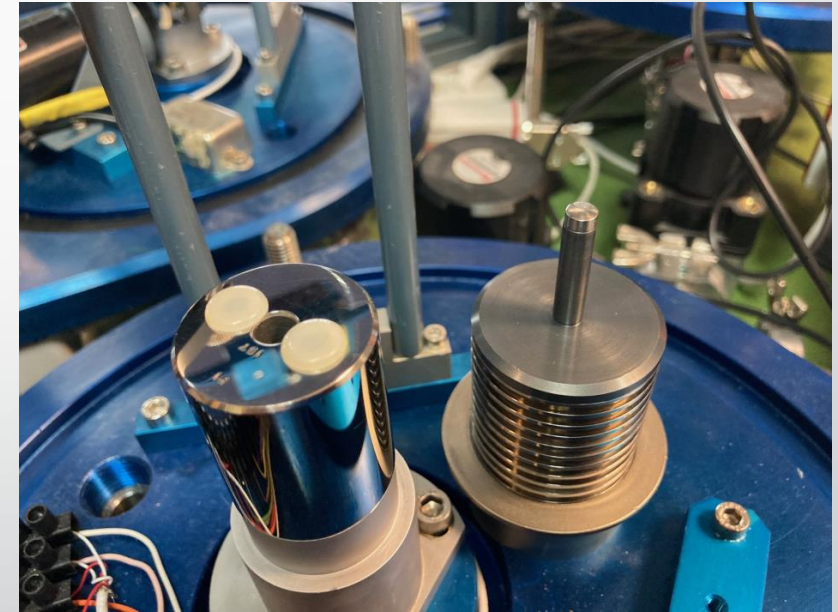
Comparación por el método de “flotación cruzado” entre dos pistones

Presión [Pa]	Ap @ 20 °C [m²]	Δ (promedio) [PPM]	Ap @ 23,889 °C (75 F) [m²]	1,25 in² [m²]	Δ (nominal) [PPM]
34903,00	8,063799E-4	4,4	8,064476E-4	8,0645E-4	-3
29976,12	8,063774E-4	1,3	8,064451E-4	8,0645E-4	-6
24911,16	8,063763E-4	-0,1	8,064440E-4	8,0645E-4	-7
19984,66	8,063765E-4	0,2	8,064442E-4	8,0645E-4	-7
14920,60	8,063758E-4	-0,7	8,064435E-4	8,0645E-4	-8
9994,84	8,063742E-4	-2,7	8,064419E-4	8,0645E-4	-10
4931,04	8,063744E-4	-2,4	8,064421E-4	8,0645E-4	-10
Promedio:	8,063764E-4		8,064441E-4	8,0645E-4	-7

- El coeficiente de deformación es despreciable o cero (igual que en los resultados de la calibración realizada en laboratorio externo).
- La diferencia entre el valor del área de un pistón y el otro es aproximadamente 0,005 % que es indicativo a que no ha habido una deriva relativa significativa del área efectiva durante los últimos 50 años.

Deriva despreciable o casi nula durante los últimos 50 años

- La tolerancia en el año 2019 del primer conjunto pistón-cilindro (P1-157 / C1-236) calibrado (en Holanda) es de 0,0059 % (difiere $0,000473E-4$ m² con referencia al valor nominal de diseño @ 75 F), lo cual supone que la deriva durante los últimos 50 años ha sido despreciable o casi nula.
- La tolerancia en el año 2021, del segundo conjunto pistón-cilindro (P1-371 / C1-353) calibrado es de 0,0007 % (difiere $0,000059E-4$ m² con referencia al valor nominal de diseño a 75 F), lo cual supone que la deriva durante los últimos 50 años ha sido despreciable o casi nula.





Arnstein Ovredal - Prima Process Metrology, S.L.U.



Arnstein Ovredal - Prima Process Metrology, S.L.U.



Arnstein Ovredal - Prima Process Metrology, S.L.U.

Mediciones en modo diferencial

- Módulo digital Additel ADT160A con rango de ± 7500 Pa número de serie 00517510005..
- Módulo digital Additel ADT155 con rango de ± 2500 Pa número de serie 00520460002.
- Módulo digital Additel ADT160A con rango de ± 500 Pa número de serie 00518410007.



Mediciones en modo relativo negativo y positivo (referencia abierta al ambiente)

P1-371/C1-353 [Pa]	Corr. ADT160A [Pa]	σ [Pa]	P1-157/C1- 236 [Pa]	Corr. ADT160A [Pa]	σ [Pa]
-4931,17	0,31	0,00	-4928,90	0,30	0,03
-7445,87	0,46	0,03	-7444,22	0,45	0,02

P1-371/C1-353 [Pa]	Corr. ADT160A [Pa]	σ [Pa]	P1-157/C1- 236 [Pa]	Corr. ADT160A [Pa]	σ [Pa]
2066,89	-0,07	0,01	2067,11	-0,07	0,01
4931,17	-0,38	0,02	4928,90	-0,39	0,01
7445,84	-0,56	0,03	7444,19	-0,50	0,05

- Las correcciones del dispositivo bajo prueba son casi idénticas usando los dos patrones independientes lo cual era de esperarse, y simplemente es una confirmación de que los dos patrones dan los mismos resultados al usarlos por separado, dentro de las limitaciones del dispositivo bajo prueba.
- Se ve claramente que las correcciones asociadas al dispositivo bajo prueba se van reduciendo al disminuir la presión aplicada.

Mediciones en modo diferencial con 2 balanzas y el módulo de ± 7500 Pa

P1-371/C1-353 [Pa]	P1-157/C1-236 [Pa]	Δ [Pa]	Lectura ADT160A [Pa]	Corr. ADT160A [Pa]	σ [Pa]
4931,169	4928,904	-2,265	-2,26	-0,005	0,002
4931,117	5032,260	101,102	101,10	0,002	0,002
4931,149	5170,045	238,896	238,90	-0,004	0,007
4931,150	5273,403	342,253	342,25	-0,003	0,005
4931,148	5376,759	445,611	445,60	0,011	0,006
4931,149	5480,115	548,966	548,99	-0,024	0,001

- Las correcciones del dispositivo bajo prueba son casi inexistentes y que la desviación estándar (grados de libertad = 2) es inferior a la resolución del dispositivo bajo prueba.
- La presión generada por cada balanza ha sido dentro de su rango calibrado lo cual significa que no hay duda sobre la trazabilidad internacional.

Mediciones en modo diferencial con 2 balanzas y el módulo de ± 2500 Pa

P1-371/C1-353 [Pa]	P1-157/C1-236 [Pa]	Δ [Pa]	Lectura ADT155 [Pa]	Corr. ADT155 [Pa]	σ [Pa]
4931,137	4928,858	-2,279	-2,27	-0,014	0,012
4931,138	5032,218	101,080	101,09	-0,008	0,004
4931,137	5170,014	238,877	238,89	-0,016	0,012
4931,139	5273,377	342,237	342,25	-0,014	0,003
4931,139	5376,735	445,596	445,62	-0,027	0,003
4931,125	5480,073	548,948	548,99	-0,042	0,004
4931,125	5962,874	1031,749	1031,83	-0,081	0,003
4931,122	6410,737	1479,615	1479,75	-0,135	0,006
4931,122	6996,414	2065,292	2065,46	-0,168	0,005
0,000	2067,083	2067,083	2067,25	-0,167	0,001
0,000	2414,307	2414,307	2414,49	-0,183	0,007

- De nuevo, las correcciones bajan, cuando la presión diferencial disminuye y que la desviación estándar (grados de libertad = 2) en general es inferior a la resolución del dispositivo bajo prueba.
- La corrección del dispositivo bajo prueba es igual en modo relativo como en el diferencial, al mismo valor nominal de presión (2000 Pa en este caso).
- Lo anterior demuestra que el área efectiva del conjunto pistón-cilindro es igual a 2000 Pa que a 5000 Pa.
- A 2000 Pa el conjunto pistón-cilindro usado por sí solo, es un patrón válido y de prestaciones similares a las que tiene a 5000 Pa.

Mediciones en modo diferencial con 2 balanzas y el módulo de ± 500 Pa

P1-371/C1-353 [Pa]	P1-157/C1-236 [Pa]	Δ [Pa]	Lectura ADT160A [Pa]	Corr. ADT160A [Pa]	σ [Pa]
4931,137	4928,858	-2,279	-2,265	-0,014	0,012
4931,138	5032,218	101,080	101,088	-0,008	0,004
4931,137	5170,014	238,877	238,893	-0,016	0,012
4931,139	5273,377	342,237	342,252	-0,014	0,003
4931,139	5376,735	445,596	445,623	-0,027	0,003

- Los resultados no demuestran una mejora significativa de la desviación estándar (grados de libertad = 2) a pesar de que la resolución del dispositivo era 10 veces superior a los dos dispositivos anteriores.
- Las correcciones no eran inferiores comparadas con los dispositivos de rangos mayores sobre la misma escala de 0 ... 500 Pa.
- La sensación durante las pruebas fue que las lecturas de presión eran menos estables en término absoluto comparado con los rangos anteriores.
- La resolución de 0,001 Pa era demasiado elevada (equivalente a 1 ppm del rango de ± 500 Pa) para el tipo de sensor.

Conclusión

- Se ha podido generar un sistema patrón primario que es seguro, estable, y fácil de usar basado en la balanza convencional y con incertidumbre total hasta 0,01 Pa.
- Existen otros laboratorios (solo conozco a dos – uno en el Reino Unido y otro en los EEUU) que usan el instrumento original del fabricante (mayor incertidumbre debido al diseño de la base).
- El proceso de ajuste en 3 puntos (ej. -2500, cero, y 2500 Pa) de un patrón secundario electrónico de trabajo como los que han sido usados en este artículo, se hace en menos de 5 minutos.

