

Desarrollo de una herramienta de cálculo para la obtención de los parámetros metrológicos de un Manómetro Patrón de Pistón y Pesas. *Development of a calculation tool to obtain the metrological parameters of a Piston and Weight Standard Manometer.*

M. Sc. Pedro González-Enríquez¹

¹Laboratorio de Presión - Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET) -NC-ONN-CITMA. Cuba.

Consulado No. 206 e/ Trocadero y Ánimas. Centro Habana. La Habana

E-mail: pedritin8711@gmail.com

RESUMEN

En el trabajo se presenta una herramienta matemática realizada en una hoja de cálculo Excel la cual mejora, perfecciona y agiliza los cálculos metrológicos del proceso de calibración de un Manómetro Patrón de Pistón y Pesas (MPPP), contribuyendo a que el cálculo se logre con mejor exactitud. Todos los cálculos que son realizados por la herramienta se encuentran establecidos en el procedimiento para la calibración de un MPPP, de manera eficiente y rápida, presentándose los resultados de las mediciones listos para ser impresos e interpretados en un certificado de calibración. La hoja de cálculo es compatible con la base de datos que registra todos los certificados de calibración realizados en el Laboratorio de Presión del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET).

PALABRAS CLAVES: Calibración, Parámetros metrológicos, Manómetro Patrón de Pistón y Pesas, Incertidumbre de las mediciones.

ABSTRACT

The paper presents a mathematical tool made in an Excel spreadsheet which improves, perfects and speeds up the metrological calculations of the calibration process of a Piston and Weight Standard Manometer (MPPP), contributing to the calculation being achieved with better accuracy. All the calculations that are performed by the tool are established in the procedure for the calibration of an MPPP, efficiently and quickly, presenting the results of the measurements ready to be printed and interpreted in a calibration certificate. The spreadsheet is compatible with the database that records all calibration certificates performed at the Pressure Laboratory of the National Research Institute on Metrology (INIMET).

KEY WORDS: Calibration, Metrological parameters, Piston Standard Manometer and Weights, Uncertainty of measurements.

INTRODUCCION

Realizar mediciones de mayor exactitud es uno de los caminos que se sigue cuando de metrología se habla, es por ello que contribuir al desarrollo de nuevas metodologías y herramientas para el cálculo metrológico de las mediciones de las distintas magnitudes es una tarea en la cual el INIMET se centra y constantemente investiga.

La necesidad de mejorar y centralizar todos los cálculos de los parámetros metrológicos de los MPPP en una herramienta matemática (en lo adelante herramienta), que sea compatible con la base de datos en la cual quedan registrados todos los certificados de calibración que se realizan en el laboratorio, además de insertar y poner al Laboratorio de Presión del INIMET a la altura de cómo se realizan los cálculos de este nivel de patrones en los laboratorios análogos de otros Institutos Nacionales de Metrología (INM) en el mundo, fundamenta este trabajo.

Históricamente el Laboratorio de Presión del INIMET ha contado con varios manómetros de pistón y pesas patrones de referencia (MPPP) de clase de exactitud 0,02 %, aspecto que refleja la familiarización con el uso y conservación de estos tipos de instrumentos de medición. Es por ello que desarrollar nuevas técnicas y métodos más efectivos para la calibración de estos patrones, es un reto que se impone en el laboratorio, con el fin de obtener mayores niveles de exactitud. Este trabajo tiene como principal objetivo elevar y simplificar la calidad del cálculo de las mediciones de los MPPP de manera exacta y eficiente.

DESARROLLO

En el Laboratorio de Presión del INIMET, en los cálculos de los parámetros metrológicos, sólo se consideraban los valores nominales de las masas que intervenían en el proceso de calibración, y no se utilizaban los valores de referencia, reportados en el certificado de calibración de estas masas. Con la realización de los cálculos empleando esta herramienta se tiene en cuenta la diferencia entre la masa nominal y la masa de referencia que aparece reportada en el certificado de calibración, lo que permite que los cálculos sean más cercanos a la realidad, y minimizar una de las fuentes de incertidumbre, cuestión que se persigue en cada medición.

CARACTERIZACION GENERAL DE LA HERRAMIENTA

La herramienta matemática se construyó con la ayuda de Microsoft Excel. La misma está estructurada por 6 hojas de cálculo de Excel, las cuales se identifican como:

- Hoja 1 Introducción de los datos obtenidos en la medición.
- Hoja 2 Cálculos de los parámetros metrológicos y sus incertidumbres.
- Hoja 3 Cálculos de los parámetros metrológicos correspondientes a velocidad de desplazamiento y de tiempo de giro libre del MPPP (comprobación de hermeticidad).
- Hoja 4 Valores de referencia de las masas con sus incertidumbres y números de serie, utilizados para el cálculo de los parámetros metrológicos.
- Hoja 5 Aparecen todos los valores de referencia de los Patrones MPPP del Laboratorio de Presión del INIMET.
- Hoja 6 Resultados de la calibración de un MPPP.

A continuación aparece la caracterización de cada una de estas hojas de cálculo de Excel empleadas en la herramienta matemática desarrollada.

- Hoja 1 - Se introducen todos los datos que se obtienen en la medición, tales como: temperatura inicial y final, densidad del material del soporte de carga del instrumento de medición (MPPP) y su peso, se escogen los modelos de los MPPP que se van a calibrar y el modelo del Patrón que se utilizó. Además, se introducen los números de serie de cada masa que se emplea en cada equilibrio de la medición y el valor de las masas pequeñas que utilizadas. (ver Fig.1)

| Instrumento | | (Peso del IMBP)kg | (Densidad del IMBP)kg/m3 | Temperatura | | | Limite superior del (IMBP) kgf/cm ² | | Limite superior del (IMP) kgf/cm ² | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|-------------------|--------------------------|-------------|-----------|-----------|--|-----------|---|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------|
| MP-600 # 7162 | | 0,51125 | 8000 | inicia | 24,2 | Cº | 600 kgf/cm ² | | 200 kgf/cm ² | | | | | | | | | | | |
| Patrón | | | | final | 24,2 | Cº | | | | | | | | | | | | | | |
| DHI - 200 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Numero de serie de las masas colocadas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masas colocadas IMP(#serie) | | | | | | | | | | Masas colocadas IMBP(#serie) | | | | | | | | | | |
| 1 equilib | 2 equilib | 3 equilib | 4 equilib | 5 equilib | 6 equilib | 7 equilib | 8 equilib | 9 equilib | 10 equilib | 1 equilib | 2 equilib | 3 equilib | 4 equilib | 5 equilib | 6 equilib | 7 equilib | 8 equilib | 9 equilib | 10 equilib | |
| 21 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 21 | 15453 | 15453 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15453 | 15453 |
| 11 | 21 | 52 | 52 | 52 | 52 | 52 | 52 | 21 | 11 | | 15452 | 145650 | 15453 | 15453 | 15453 | 15453 | 145650 | 15452 | | |
| | | 11 | 53 | 53 | 53 | 53 | 11 | | | | 15451 | | 15452 | 15452 | 15452 | 15452 | | 15451 | | |
| | | | | 41 | 41 | | | | | | | | 145650 | 15451 | 15451 | 145650 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 5530 | 5530 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 14563 | 14563 | | | | | |
| Total de Masas Colocadas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3,011692 | 7,019868 | 11,02793 | 15,03601 | 19,04419 | 19,04429 | 15,03611 | 11,02793 | 7,019868 | 3,011702 | 0,513694 | 1,538263 | 2,56339 | 3,586631 | 4,610895 | 4,611095 | 3,586181 | 2,56178 | 1,537713 | 0,513704 | |

Fig. 1 Hoja 1 Introducción de los datos obtenidos en la medición

- Hoja 2 - Se producen todos los cálculos descritos en el procedimiento de calibración del laboratorio de los "Manómetros Patrones de Pistón y Pesas", tanto para la obtención de los parámetros metrológico como de sus incertidumbres. (ver Fig. 2)

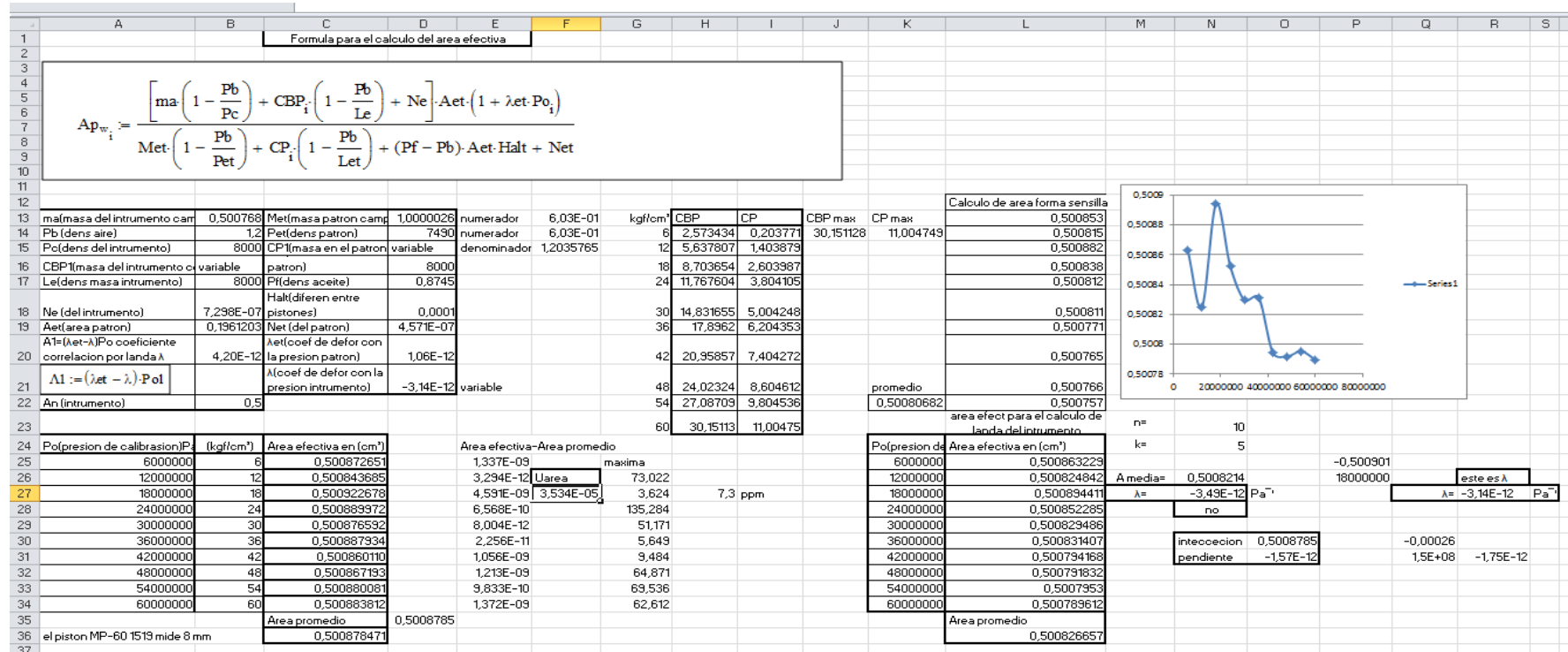


Fig. 2 Hoja 2 Cálculos de los parámetros metrológicos y sus incertidumbres

- Hoja 3 - Se introducen los valores, se realizan los cálculos de velocidad de desplazamiento, y de tiempo de giro libre del MPPP, descrito en el procedimiento de calibración del laboratorio para la comprobación de la hermeticidad. (ver Fig. 3)

| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|---|-----------------------------------|-------------|------------|------------|---|----------------------|------------|------------|---|
| | velocidad de desplazamiento | | | | | tiempo de giro libre | | | |
| | desplazamiento (mm) | tiempo(min) | (mm/min) | | | Tiempo (min) | UATGL | UCTGL | |
| | 0,50 | 2,00 | 0,25 | | | 7,20 | 0,06 | 0,05774305 | |
| | 0,45 | 2,00 | 0,225 | | | 7,30 | UBTGL | | |
| | 0,50 | 2,00 | 0,25 | | | 7,20 | 0,00096225 | | |
| | | | | | | TGLP | UE | | |
| | UBD | UBT | UAVP | UBVP | | 7,23 | 0,11548609 | | |
| | 0,007216878 | 0,000481125 | 0,01443376 | 0,00360894 | | | | | |
| | Desp en un minuto promedio(mm/mi) | UC | UE | | | | | | |
| | 0,242 | 0,014878097 | 0,02975619 | (mm/min) | | | | | |

Fig. 3 Hoja 3 Cálculos de los parámetros metrológicos correspondientes a velocidad de desplazamiento y de tiempo de giro libre del MPPP (comprobación de hermeticidad)

- Hoja 4 – Funciona como base de datos donde están todos los valores de masa obtenidos de los certificados de calibración, con sus respectivos números de serie e incertidumbres. Estos valores son los que serán tomados como referencia para realizar los cálculos de los parámetros metroológicos. (ver Fig. 4)

| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P |
|---|------|---------------|-------------|---|---------|---------------|-------------|-----------|------------|---------------|-------------|---|------|---------------|-------------|
| | 5 | | | | revisar | | | | auxiliares | | | | 5 | | |
| | NO | Valor real(g) | Uc K=3 (mg) | | No | Valor real(g) | Uc K=3 (mg) | | No | Valor real(g) | Uc K=3 (mg) | | No | Valor real(g) | Uc K=3 (mg) |
| | 0010 | 2436,2 | 34 | | 8 | 500,216 | 5,5 | 1456(1) | 145651 | 50,0060 | 4,0 | | 0075 | 2500,67 | 34 |
| | 10 | 4332,74 | 40 | | 2 | 500,196 | 5,5 | 1456(0) | 14560 | 50,0050 | 4,0 | | 4 | 5002,66 | 40 |
| | 15 | 4332,64 | 40 | | 1 | 500,227 | 5,5 | 1456(22) | 145622 | 100,0010 | 4,0 | | 7 | 5003,48 | 40 |
| | 6 | 4332,57 | 40 | | 3 | 500,1380 | 5,5 | 1456(21) | 145621 | 100,0060 | 4,0 | | 2 | 5002,29 | 40 |
| | 17 | 4332,76 | 40 | | 6 | 500,1660 | 5,5 | 1456(20) | 145620 | 100,0060 | 4,0 | | 1 | 5001,80 | 40 |
| | 5 | 4332,74 | 40 | | 5 | 500,1300 | 5,5 | 1456(19) | 145619 | 100,0030 | 4,0 | | 9 | 5004,08 | 40 |
| | 14 | 4332,59 | 40 | | 7 | 500,1540 | 5,5 | 1456(18) | 145618 | 100,0130 | 4,0 | | 8 | 5003,81 | 40 |
| | 9 | 4332,56 | 40 | | 10 | 500,1710 | 5,5 | 1456(17) | 145617 | 100,0030 | 4,0 | | 5 | 5002,89 | 40 |
| | 2 | 4332,63 | 40 | | 4 | 500,1330 | 5,5 | 1456(16) | 145616 | 100,0020 | 4,0 | | 3 | 5002,36 | 40 |
| | 1 | 4332,53 | 40 | | 9 | 500,1510 | 5,5 | 1456(15) | 145615 | 100,0060 | 4,0 | | 6 | 5003,37 | 40 |
| | 18 | 4332,95 | 40 | | 1 | 100,0415 | 4,0 | 1456(14) | 145614 | 100,0070 | 4,0 | | 10 | 5004,34 | 40 |
| | 13 | 4332,84 | 40 | | 2 | 100,0325 | 4,0 | 1456(13) | 145613 | 100,0070 | 4,0 | | 11 | 5004,47 | 40 |
| | 4 | 4332,84 | 40 | | 3 | 100,0345 | 4,0 | 1456(10) | 145610 | 100,0080 | 4,0 | | 15 | 5005,730 | 40 |
| | 16 | 4332,82 | 40 | | 9 | 100,0305 | 4,0 | 1456(8) | 14568 | 100,0080 | 4,0 | | 12 | 5004,79 | 40 |
| | 12 | 4332,69 | 40 | | 5 | 100,0405 | 4,0 | 1456(7) | 14567 | 100,0130 | 4,0 | | 13 | 5005,23 | 40 |
| | 7 | 4332,85 | 40 | | 4 | 100,0405 | 4,0 | 1456(6) | 14566 | 100,0120 | 4,0 | | 19 | 5006,9 | 40 |
| | 19 | 4332,89 | 40 | | | | | 1456(5) | 14565 | 100,0150 | 4,0 | | 17 | 5006,320 | 40 |
| | 21 | 4332,9 | 40 | | | | | 1456(4) | 14564 | 99,9960 | 4,0 | | 14 | 5005,510 | 40 |
| | 11 | 4332,630 | 40 | | | | | 1456(3) | 14563 | 100,0070 | 4,0 | | 18 | 5006,49 | 40 |
| | 8 | 4332,110 | 40 | | | | | 1456(2) | 14562 | 100,0030 | 4,0 | | 24 | 5008,51 | 40 |
| | 22 | 4332,79 | 40 | | | | | 1456(1) | 14561 | 100,0090 | 4,0 | | 16 | 5006,05 | 40 |
| | 3 | 4332,78 | 40 | | | | | 1456(0) | 14560 | 100,0090 | 4,0 | | 20 | 5007,100 | 40 |
| | 20 | 4332,890 | 40 | | | | | 1456(11) | 145611 | 100,0065 | 4,0 | | 22 | 5007,69 | 40 |
| | 24 | 4332,33 | 40 | | | | | 1456(12) | 145612 | 100,0065 | 4,0 | | 21 | 5007,19 | 40 |
| | 23 | 4332,610 | 40 | | | | | 1456(9) | 14569 | 99,9975 | 4,0 | | 23 | 5007,88 | 40 |
| | | | | | | | | 1456(7,7) | 14567,7 | 100,0075 | 4,0 | | | | |
| | | | | | | | | 1545((2) | 15452 | 500,0035 | 5,5 | | | | |
| | | | | | | | | 1545(1) | 15451 | 499,9975 | 5,5 | | | | |
| | | | | | | | | 1545(0) | 15450 | 500,0115 | 5,5 | | | | |
| | | | | | | | | 553(2) | 5532 | 499,9915 | 5,5 | | | | |
| | | | | | | | | 553(1) | 5531 | 500,0035 | 5,5 | | | | |
| | | | | | | | | 553(0) | 5530 | 500,0005 | 5,5 | | | | |
| | 4 | | | | 3 | | | | DHI | | | | 2 | | |
| | NO | Valor real(g) | Uc K=3 (mg) | | NO | Valor real(g) | Uc K=3 (mg) | | NO | Valor real(g) | Uc K=3 (mg) | | NO | Valor real(g) | Uc K=3 (mg) |
| | 1 | 2500,075 | 34 | | 61 | 3000,033 | 36 | | 51 | 5000,034 | 3,1 | | 446 | 499,995 | 5,5 |
| | 2 | 2500,005 | 34 | | 62 | 3000,049 | 36 | | 52 | 5000,022 | 6,8 | | 447 | 500,006 | 5,5 |
| | 3 | 2500,085 | 34 | | 63 | 3000,027 | 36 | | 53 | 5000,039 | 8,5 | | 448 | 500,004 | 5,5 |
| | 4 | 2499,965 | 34 | | 64 | 3000,067 | 36 | | 54 | 5000,031 | 9,2 | | 449 | 499,986 | 5,5 |
| | 5 | 2500,120 | 34 | | 65 | 3000,073 | 36 | | 55 | 5000,019 | 8,4 | | 450 | 600,003 | 6 |
| | 6 | 2500,030 | 34 | | 66 | 3000,068 | 36 | | 56 | 5000,031 | 8,8 | | 451 | 600,004 | 6 |
| | 7 | 2500,000 | 34 | | 67 | 3000,074 | 36 | | 41 | 4000,029 | 7,8 | | 452 | 900,035 | 7,8 |
| | 8 | 2500,030 | 34 | | 68 | 3000,086 | 36 | | 21 | 2000,004 | 3,8 | | 453 | 1000,011 | 8,5 |
| | 9 | 2499,955 | 34 | | 69 | 3000,078 | 36 | | 22 | 2000,016 | 4,2 | | 454 | 1000,019 | 8,5 |
| | 10 | 2500,035 | 34 | | 70 | 3000,054 | 36 | | 11 | 1000,008 | 2,8 | | 455 | 1000,026 | 8,5 |
| | 11 | 2500,055 | 34 | | 991 | 3000,006 | 36 | | 501 | 500,004 | 1,1 | | 456 | 1000,004 | 8,5 |
| | 12 | 2499,985 | 34 | | 992 | 3000,090 | 36 | | 201 | 200,001 | 0,5 | | 457 | 1000,010 | 8,5 |
| | 13 | 2556,580 | 34 | | 993 | 3000,014 | 36 | | 202 | 200,000 | 0,5 | | 458 | 1000,023 | 8,5 |
| | 14 | 2556,490 | 34 | | 994 | 3000,008 | 36 | | 101 | 99,9989 | 0,3 | | 459 | 1000,025 | 8,5 |
| | 15 | 2556,450 | 34 | | 995 | 3000,002 | 36 | | | | | | 460 | 1000,006 | 8,5 |

Fig. 4 Hoja 4 Valores de referencia de las masas con sus incertidumbres y números de serie (para el cálculo de los parámetros metroológicos)

- Hoja 5 - se presentan todos los parámetros metrológicos que se reportan en el certificado de calibración de cada uno de los MPPP. También aparecen los números de serie que identifican estos patrones del laboratorio utilizados en el proceso de calibración, esto funciona como una pequeña base de datos para los patrones MPPP. (ver Fig. 5)

| | A | B | C | D |
|----|--|------------|-------------|------|
| 41 | DHI - 2000 | 6 | | 541A |
| 42 | Masa del Patron | 1,0000013 | 0,000008 | |
| 43 | Dens del Patron | 7230 | | |
| 44 | Dens de las masas del Patron | 8000 | | |
| 45 | Aet del Patron | 0,01960761 | | |
| 46 | λ_{et} (coef de defor con la presion patron) | 9,44E-13 | | |
| 47 | | | | |
| 48 | | | | |
| 49 | DHI - 200 | 7 | | 486 |
| 50 | Masa del Patron | 1,0000026 | 0,000008 | |
| 51 | Dens del Patron | 7490 | | |
| 52 | Dens de las masas del Patron | 8000 | | |
| 53 | Aet del Patron | 0,19612034 | 2,94181E-06 | |
| 54 | λ_{et} (coef de defor con la presion patron) | 1,06E-12 | | |
| 55 | | | | |
| 56 | | | | |
| 57 | DHI - 20 | 8 | | 1746 |
| 58 | Masa del Patron | 1,0000142 | 0,000008 | |
| 59 | Dens del Patron | 6910 | | |
| 60 | Dens de las masas del Patron | 8000 | | |
| 61 | Aet del Patron | 1,9611521 | 3,9223E-06 | |
| 62 | λ_{et} (coef de defor con la presion patron) | -1,67E-12 | | |
| 63 | | | | |
| 64 | | | | |
| 65 | | | | |
| 66 | | | | |

Fig. 5 Hoja 5 Aparecen todos los valores de referencia de los Patrones MPPP del Laboratorio de Presión del INIMET

- Hoja 6 – Se presenta el resultado final en forma de tabla de todos los parámetros metrológicos de la calibración de un MPPP. (ver Fig. 6)

| | | |
|--|-------------------|------------------|
| Peso del Pistón y la campana | 0,500768 | kg |
| Incertidumbre expandida (k=3) | 0,000010 | kg |
| Área Promedio | 0,500827 | cm ² |
| Incertidumbre expandida (k=2) | 0,000072 | cm ² |
| Coefficiente de deformación con la presión (λ) | -3,14E-12 | Pa ⁻¹ |
| Incertidumbre (λ) | -1,81E-12 | Pa ⁻¹ |
| Incertidumbre en presión | Up(k=2) = 1,95 Pa | + 74 ppm |

Fig. 6 Hoja 6 Resultados de la calibración de un MPPP

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

FUNCIONAMIENTO Y PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA HERRAMIENTA

La herramienta está diseñada para que trabaje de forma automática después de introducirle los datos experimentales de las mediciones realizadas en el proceso de la calibración de estos patrones, es capaz de seleccionar todos los valores de referencia necesarios para los cálculos, y contribuye a mejorar la calidad de los cálculos de las mediciones realizadas en la calibración de MPPP, reportándose los resultados en el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Su funcionamiento se materializa después de introducirle los datos de las mediciones de la calibración, la misma es capaz de buscar en la base de datos los valores de referencia de las masas con sus respectivas incertidumbres según el número de serie, y agruparlas para conformar cada uno de los equilibrios realizados en el experimento para la calibración, así como para todos los parámetros metrológicos del patrón utilizado, para de esta forma realizar los cálculos automáticamente y reportar los resultados.

Se presenta un ejemplo de una calibración tomando los valores nominales de las masas colocadas en cada equilibrio y se compara con la misma calibración pero esta vez tomando los valores de referencia reportados en el certificado de calibración. (Ver Fig. 7)

| Con masa nominal | | Con masa de referencia reportada en certificado de calibración | |
|--|----------------------------|--|----------------------------|
| Peso del Pistón y la campana | 0,500768 kg | Peso del Pistón y la campana | 0,500768 kg |
| Incertidumbre expandida (k=3) | 0,000010 kg | Incertidumbre expandida (k=3) | 0,000010 kg |
| Área Promedio | 0,500820 cm ² | Área Promedio | 0,500827 cm ² |
| Incertidumbre expandida (k=2) | 0,000075 cm ² | Incertidumbre expandida (k=2) | 0,000072 cm ² |
| Coefficiente de deformación con la presión (λ) | -3,36E-12 Pa ⁻¹ | Coefficiente de deformación con la presión (λ) | -3,14E-12 Pa ⁻¹ |
| Incertidumbre (λ) | -1,94E-12 Pa ⁻¹ | Incertidumbre (λ) | -1,81E-12 Pa ⁻¹ |
| Incertidumbre en presión | Up(k=2) = 1,95 Pa + 77 ppm | Incertidumbre en presión | Up(k=2) = 1,95 Pa + 74 ppm |

Fig. 7 Comparación entre resultados con masa nominal y con masa de referencia reportada en el certificado de calibración del patrón

Partiendo del análisis de los resultados de la Fig. 7, hay una ligera diferencia en los valores de incertidumbres, en los cálculos realizados con los valores nominales de las masas y en los que se muestran teniendo en cuenta los valores de referencia de las masas que se reportan en el certificado de calibración, la diferencia es de $\pm 0,000003$ cm² con respecto a la incertidumbre por área efectiva, y con relación a la incertidumbre por presión tenemos una diferencia de 3 ppm. Esta diferencia en términos metrológicos es significativa y más cuando las mediciones son con patrones de exactitud.

CONCLUSION

El desarrollo de la herramienta matemática en Excel para los cálculos de los parámetros metrológicos en la calibración de los Manómetros Patrones de Pistón y Pesas, permitió

optimizar este proceso y mejorar la calidad de los resultados de las incertidumbres de las mediciones por área efectiva y presión, reportadas en los certificados de calibración de estos patrones.

RECOMENDACION

Continuar trabajando en la investigación y actualización del procesamiento de datos de los parámetros metrológicos, y los cálculos para esta magnitud a nivel internacional.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

EAL- G26 Calibration of pressure balances, EAL European cooperation for accreditation of laboratories, 1997.

IC 211-01 Calibración de Manómetros Patrones de Pistón y Pesas. Métodos y Medios de Calibración. Instrucción de calibración, 1ra edición, ONN, La Habana, Cuba, 2007.

NC ISO/IEC 17025 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, ICS: 03.120.20, 3. Edición, ONN, La Habana, Cuba, Diciembre 2017.

NC OIML D5 Principios para el establecimiento de los esquemas de jerarquía para los instrumentos de medición, ONN, La Habana, Cuba, 1996.

NC OIML R 110 Manómetros de Pistón, 2da Edición, Cuba, 2005.

NC OIML R 111 -1 Pesas de clases E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃, Requisitos Metrológicos y Técnicos, ONN, La Habana, Cuba, 2004.

NC OIML V2 Vocabulario Internacional de Metrología-Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM), Publicada por la OIML en 2010, 2da Edición, ONN, La Habana, Cuba, Octubre 2012.

Fecha de recepción del artículo: 2019-11-29

Fecha de aceptación del artículo: 2019-12-25