



Evaluación de la calidad de un proyector de perfiles mediante la calibración

Assessing the quality of a profile projector by calibration

Yoel Portuondo Paisan^{1,*}, Francisco Lafargue Pérez¹, Julio Cesar Pino Tarrago^{II}

I. Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Santiago de Cuba, Cuba

II. Universidad del Estado Sur de Manabí, Ecuador

*Autor de correspondencia: yoelportuondo@uo.edu.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 20 de febrero de 2020

Aceptado: 10 de abril de 2020

Resumen

Mediante la calibración es posible asegurar que los instrumentos están midiendo de manera correcta, de esta forma se garantiza la fiabilidad y trazabilidad de las mediciones. El objetivo del trabajo fue calibrar el Proyector de Perfiles Digital CPJ 3025A. Se realizó la calibración de los ejes X, Y y la escala angular del proyector para la iluminación diascópica (proyección por luz transmitida). Para la calibración se emplearon bloques patrón y patrones angulares, el procedimiento de calibración empleado fue el

publicado por el Centro Español de Metrología. Como resultado se obtuvieron las incertidumbres para cada uno de los puntos analizados, así como las curvas de calibración de los ejes y se concluyó que los errores obtenidos no superan los permisibles por lo que no se requiere realizar ningún tipo de ajuste del proyector ni de corrección de datos.

Palabras claves: calibración; proyector de perfiles; bloques patrón.

Abstract

By means of the calibration it is possible to be sure that the instruments are measuring correctly in order to guarantee the reliability and traceability of the measurements. The objective of the work was to calibrate the Digital Profile Projector CPJ 3025A. The calibration of the X, Y axes and the angular scale of the projector is performed for diascopic lighting (transmitted light projection). For the calibration were used gauge blocks and angular gauge, the procedure used was that published by the Spanish Metrology Center. As a result

were obtained uncertainties for each of the points, as well as the calibration curves of the axes and the author conclude that the calculated errors do not exceed the permissible, so the projector offers reliable measurements and the instrument does not require adjustments or corrections to the measurement results.

Key words: calibration; profile projector; gauge blocks.

Cómo citar este artículo:

Portuondo Paisan Y, Lafargue Pérez F, Pino Tarrago JC. Evaluación de la calidad de un proyector de perfiles mediante la calibración. Ingeniería Mecánica. 2020;23(3):e606. ISSN 1815-5944.

Introducción

Un proyector de perfiles; también llamado comparador óptico, es un dispositivo que aplica el principio de óptica para la inspección de piezas fabricadas. Se emplea para inspeccionar y comparar piezas muy pequeñas, que desempeñan un papel importante en la estructura de los sistemas como aplicación de la calidad [1]. Es un instrumento muy útil para el análisis de la forma de componentes empleados en diferentes productos y permite además realizar mediciones de manera sencilla y con una elevada precisión [2]. El mismo puede ser empleado para la medición de piezas que tienen forma irregular y que no podrían ser medidas por métodos convencionales [3]. Debido a la elevada exactitud y precisión de los proyectores pueden ser empleados para la calibración de Instrumentos y de Máquinas. Badri, M, et al. [4] emplearon un proyector de perfiles para la calibración de una máquina de tamizar y los resultados arrojaron que los parámetros de la misma se encontraron aún dentro de los límites de tolerancia geométrica permisibles. Los proyectores encuentran también aplicación en la medicina; Yadav, J, et al. [5] emplearon un proyector de perfiles para medir la pérdida de esmalte como consecuencia de la profilaxis de la resina residual después del desprendimiento.

El laboratorio de Metrología Dimensional de la Universidad de Oriente, Cuba cuenta con un proyector de perfiles digital modelo CPJ 3025 A de fabricación china, el cual es de nueva adquisición. A pesar de las prestaciones que posee el mismo no se puede asegurar que las mediciones llevadas a cabo con dicho instrumento sean confiables, esto solo se puede asegurar una vez que el mismo haya sido calibrado. La norma

ISO 17025:2017, establece que antes de poner en servicio un equipo se debe calibrar con el fin de asegurar que responde a las exigencias especificadas del laboratorio y cumpla las especificaciones normalizadas pertinentes.

Las actividades de calibración son parte de la rutina de las organizaciones industriales, siendo un requisito previo para evaluar la idoneidad del equipo en las tareas de medición; la calibración no debe confundirse con el ajuste o la verificación [6].

Se define como calibración al conjunto de operaciones que establecen bajo condiciones especificadas, la relación entre los valores indicados por un aparato o sistema de medición o los valores representados por una medida materializada y los valores correspondientes de la magnitud realizada por los patrones [7].

La calibración es una operación imprescindible para establecer la trazabilidad de los elementos industriales de medida. El resultado de una calibración es recogido en un documento que suele denominarse certificado de calibración [8].

No existen normas sobre calibración de proyectores de perfiles por tal razón se suele utilizar procedimientos para estos fines. Contreras, C. y Meneses, JE. [9] establecieron un procedimiento propio para calibrar un proyector de perfiles, sin embargo en dicho procedimiento no se reportan los errores e incertidumbres asociadas por lo que no se deja evidencia de la trazabilidad metrológica, la cual se define como la propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida [10, 11].

El objetivo del presente trabajo es calibrar el Proyector de Perfiles Digital CPJ 3025A aplicando el procedimiento publicado por el Centro Español de Metrología. El estudio se limita solo a la calibración de los ejes para la iluminación diascópica.

Métodos y Materiales

La calibración se realiza para los ejes X e Y y la escala de medida angular para la iluminación diascópica (proyección por luz transmitida). En el caso de la iluminación episcópica no se realizó la calibración por no disponerse en el laboratorio de reglas patrón de trazos, ni de plantillas para la escala angular. En la figura 1 se muestra la imagen del proyector de perfiles objeto de calibración, fabricado en China en el año 2014 por el fabricante Tianzhuo Zhi Chuang Instrument Co., Ltd. Las especificaciones técnicas del mismo se muestran en la tabla 1.



Fig. 1. Proyector de Perfil CPJ 3025^a. Fuente: Manual del Proyector de Perfiles CPJ 3025A

Tabla 1. Especificaciones técnicas del proyector de perfiles CPJ 3025^a. Fuente: Manual del Proyector de Perfiles CPJ 3025A

Mesa de trabajo	Tamaño de la mesa de metal	450 x 280 mm
	Tamaño de la mesa de vidrio	306 x 196 mm
	Recorrido del eje X	250mm
	Recorrido eje Y	150mm
	Recorrido del eje Z	100mm (para foco)
	Resolución	0,0005mm
	Error máximo permisible	(2.5 + L/100) μm
Pantalla del proyector	Tamaño de la pantalla (mm)	Ø 312
	Rango de rotación de pantalla	0° ~ 360°
	Resolución angular	0,01°
Sistema de procesamiento de datos	multifunción DC 3000	
Potencia	110 V-240 V (AC), 50/60Hz, potencia total 350 W	

El control de la temperatura ambiente se realiza con el termómetro de contacto UT 325, fabricado en China en el año 2014 por el fabricante SEAFRONT. Las especificaciones técnicas del mismo se muestran en la tabla 2.

La calibración se realiza en el laboratorio de Metrología Dimensional del Departamento de Manufactura y Materiales de la Universidad de Oriente, Cuba, con una temperatura de $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$. Todo alejamiento de la temperatura de referencia (20 °C), observado mediante la lectura del sensor de temperatura, implica la aplicación de una corrección.

Tabla 2. Especificaciones técnicas del Termómetro de contacto UT 325.

Fuente: Manual del Termómetro de contacto UT 325

Rango de temperatura	Resolución	U_i para $k=2$	Alimentación
-210,0 °C +1200 °C -346,0 °F +2192 °F	0,5 °C	1 °C	1 batería 6F22 de 9 Volts

Para la calibración de los ejes X e Y del proyector de perfiles, se utilizaron bloques patrón longitudinales de grado 1. El material de los bloques es acero, y la incertidumbre expandida de calibración de los mismos, para un coeficiente de cobertura $k = 2$, responde a la expresión $U = (0,075 + 10^{-3}L)\text{ }\mu\text{m}$ donde L representa la longitud nominal del bloque en mm. Ver: Mitutoyo, Bloques Patrón. 2018

<http://www.mitutoyo.com.mx/Catalogo%20Digital/Catalogo%20general%20ES2018/BLOQUES%20PATRON.pdf>

Los bloques patrón de longitud deben cubrir de forma aproximadamente equidistante el campo de medida de cada uno de los ejes. En los casos en los que no sea suficiente con un único bloque se procede a la adhesión de varios.

La calibración de la escala de medida angular se realiza mediante patrones angulares de calidad 2 existentes, pudiendo materializarse aquellos valores nominales para los que no se dispone del patrón adecuado mediante la composición de estos hasta lograr los valores apropiados.

Dado que la resolución de la escala angular, superpuestas a la pantalla de proyección, no es mejor que un minuto de arco, se estudia la respetabilidad para el punto de 90 grado, tomando únicamente una medida para cada uno de los demás puntos de calibración. Se procederá a situar sucesivamente los patrones angulares sobre la mesa soporte de desplazamientos longitudinales hasta cubrir todos los puntos de medida.

Con ayuda de un tabulador electrónico y el software estadístico Minitab 17 se realiza el procesamiento de los datos.

Procedimiento de calibración e interpretación de los resultados

El procedimiento empleado para la calibración del proyector de perfiles es el publicado por Centro Español de Metrología. Procedimiento DI-001 para la calibración de Proyectores de Perfiles. Para la estimación y cálculo de las incertidumbres se seguirá lo establecido por el Centro Español de Metrología. Evaluación de datos de medición-Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida; 2009. Para los ejes X e Y y la escala angular, se obtiene una tabla de desviaciones a los valores convencionalmente verdaderos, proporcionados por los patrones utilizados. Las correcciones a aplicar, para cada uno de los puntos de calibración considerados, serán los valores de dichas desviaciones, cambiados de signo.

Cada desviación llevará asociada una incertidumbre de calibración para cada uno de los ejes longitudinales y para la escala de medida angular. Las incertidumbres expandidas de calibración indicadas corresponden a incertidumbres típicas multiplicadas por un factor de cobertura $k = 2$, que para una distribución normal corresponde a un nivel de confianza del 95 % aproximadamente.

El cumplimiento o no con los errores máximos permisibles para cada punto deberá comprobarse teniendo en cuenta las desviaciones obtenidas, junto con sus incertidumbres asociadas.

Una vez concluida la calibración del proyector de perfiles se trabaja con una incertidumbre de calibración ampliada, que englobe la máxima desviación encontrada en la calibración, en valor absoluto. De esta forma, como incertidumbre global de calibración del proyector de perfiles, para cada eje o escala, podría tomarse de acuerdo a la ecuación 1:

$$U = U_{j_{m\acute{a}x}} + |D_{m\acute{a}x}| \quad (1)$$

Donde,

U - Incertidumbre

$U_{j_{m\acute{a}x}}$ - Incertidumbre máxima

$D_{m\acute{a}x}$ - Desviación máxima

La estimación de la incertidumbre de medición es la forma más simple y ampliamente aceptada de establecer la confiabilidad de los resultados y también es exigida por las normas internacionales de calidad [12].

Resultados y Discusión

Una vez realizadas las mediciones a los diferentes patrones y siguiendo el procedimiento de calibración descrito en [7], se obtuvieron los valores de las desviaciones al valor corregido para cada uno de los puntos de calibración en los eje X e Y mostrados en las tablas 3 y 4.

Tabla 3. Desviaciones al valor corregido en el eje X. Fuente: autores

Valor certif. del patrón $l_{pj_{20}}$ (mm)	Valor Corregido Del patrón l_{pj_t} (mm)	Valor medio \bar{l}_j (mm)	Desviación al valor corregido D_{l_j} (μm)	Desviación típica s_j (μm)	U_j (μm)
25	24,99977	25,00005	0,28	4,4	4,51094
50	49,99996	50,00000	0,04	5,0	4,74372
75	74,99957	75,00000	0,43	4,1	4,59188
100	99,99931	100,0000	0,69	5,3	5,02746
125	124,99914	124,99995	0,81	4,4	4,57546
150	149,99853	150,0002	1,67	4,2	4,51320
175	174,99801	174,99985	1,84	4,1	4,35772
200	199,99986	199,99995	0,09	4,4	4,99188
225	224,99948	224,99985	0,37	4,1	4,53546
250	250,00058	249,9999	-0,68	5,9	5,83094

Tabla 4. Desviaciones al valor corregido en el eje Y

Valor certificado. del patrón $l_{pj_{20}}$ (mm)	Valor corregido del patrón l_{pj_t} (mm)	Valor medio \bar{l}_j (mm)	Desviación al valor corregido D_{l_j} (μm)	Desviación típica s_j (μm)	U_j (μm)
15	14,99990	15,00005	0,15	4,4	4,27
30	29,99990	29,99995	0,05	4,4	4,533204
45	45,00008	44,99980	-0,28	2,6	3,408204
60	60,00030	60,00010	-0,20	3,9	4,072000
75	75,00060	75,00000	-0,60	4,1	4,552410
90	90,00050	89,99995	-0,55	3,7	4,095470
105	105,00100	104,99995	-1,05	4,4	4,205600
120	120,00020	119,99995	-0,25	4,4	4,380384
135	134,99980	134,99990	0,10	4,6	4,775470
150	149,99990	150,00000	0,10	4,1	4,339730

En las figuras 2 y 3 se muestran las curvas de calibración o desviación respecto al valor corregido, además de las curvas de los errores máximos y mínimos permisibles en cada uno de los puntos analizados, donde se evidencia que cada uno de los puntos calibrados no sobrepasan los valores permisibles dados por el fabricante, esto se aprecia en todo el rango de operación del instrumento en los ejes X e Y.

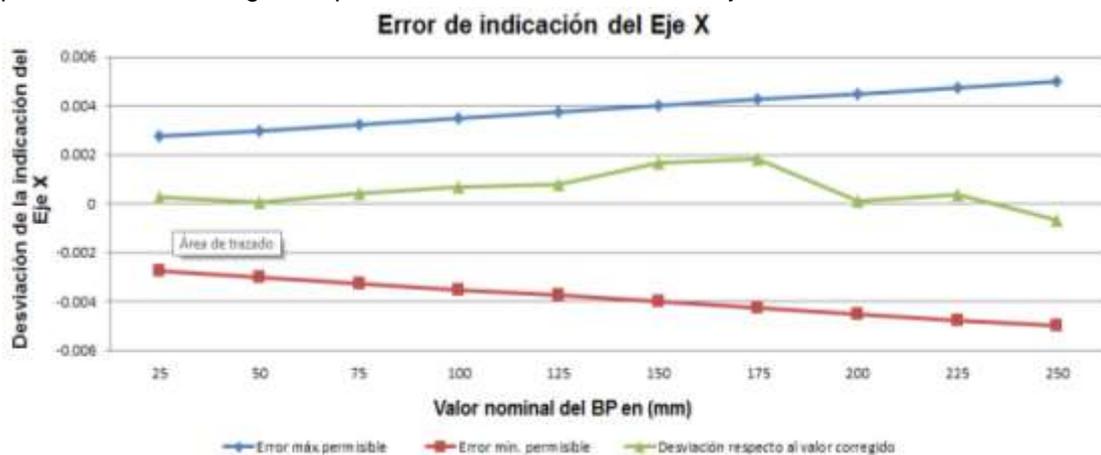


Fig. 2. Curva de calibración y de errores permisibles para el eje X. Fuente: autores

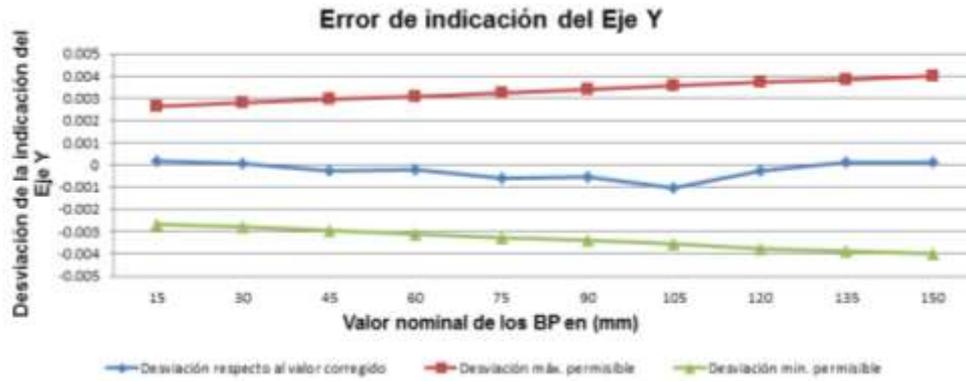


Fig. 3. Curva de calibración y de errores permisibles para el eje Y. Fuente: autores

En las figuras 4 y 5 se representa el diagrama de Pareto que muestra la contribución de las fuentes de incertidumbres para el punto de calibración que tiene mayor desviación típica. En ambas figuras se aprecia que la fuente que tiene mayor contribución es la debida a la repetibilidad con un 63,8 % de contribución para el eje X y un 60,7 % de contribución para el eje Y.

La fuente de incertidumbre que corresponde al coeficiente de dilatación, según el software estadístico Minitab 17 utilizado para la obtención de este diagrama, toma el valor de cero ya que es tan pequeño que lo asume como poco significativo para los ejes X e Y.

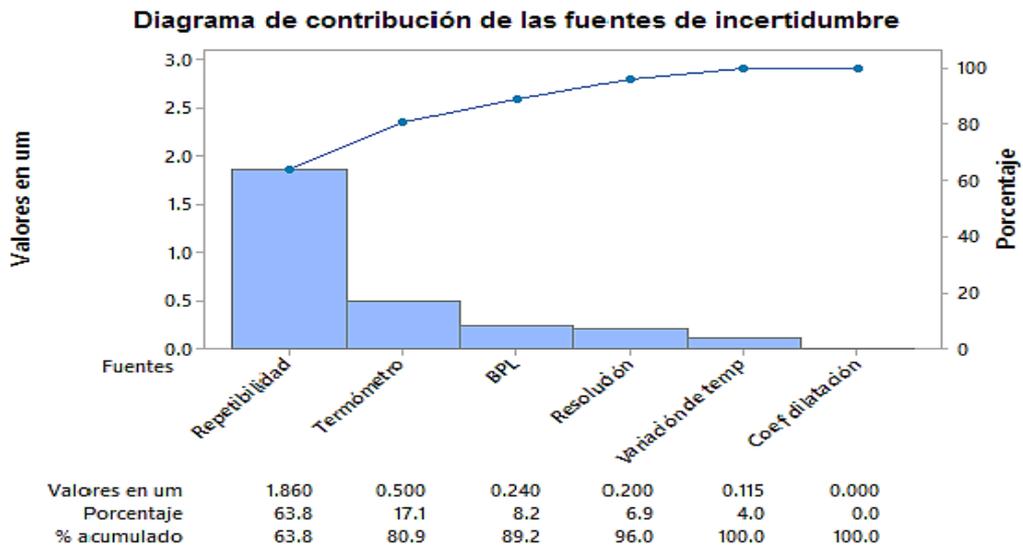


Fig. 4. Diagrama de contribución de las fuentes de incertidumbres en el eje X. Fuente: autores

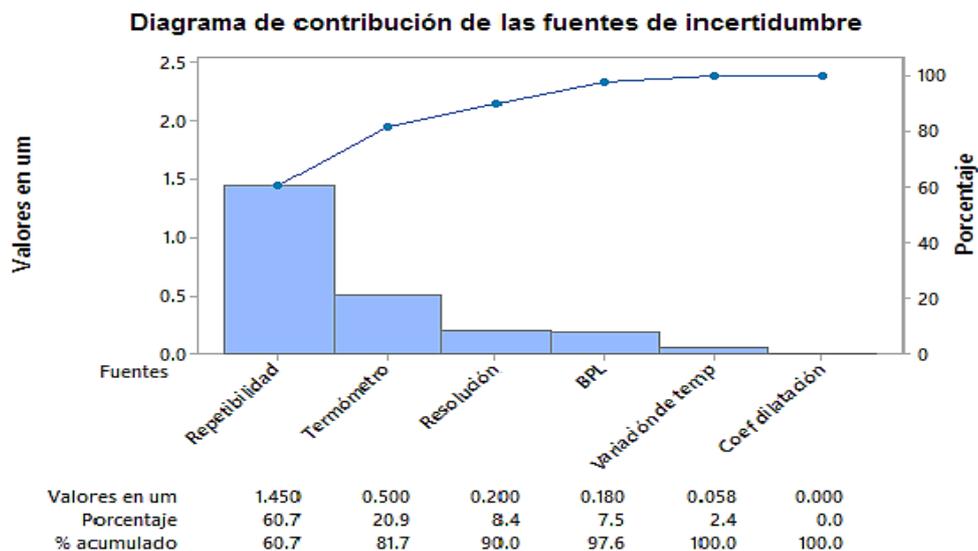


Fig. 5. Diagrama de contribución de las fuentes de incertidumbres en el eje Y. Fuente: autores

Escala angular

En la tabla 5 se muestran los valores de las desviaciones al valor corregido para cada uno de los puntos de calibración en la escala angular.

Tabla 5. Desviaciones al valor corregido en la escala angular. Fuente: autores

Escala angular	Valor del patrón α_{pj} (°)	Desviación al valor del patrón D_{α_j} (')	Desviación típica s_j (')	U_j (')
α	30	3	1,3	0,40
	60	-2		0,40
	90	-1		0,91
	120	-2		0,40
	150	-1		0,40
	180	1		0,40
	210	2		0,40
	240	1		0,40
	270	-3		0,40
	315	2		0,40
330	2	0,40		

Valores de incertidumbres

Sustituyendo en la ecuación 1, se obtienen los valores de incertidumbres para los ejes X e Y.

Para el eje X, este valor sería:

$$U = 5,83094 \mu\text{m} + 1,84 \mu\text{m} = 7,67094 \mu\text{m}$$

Para el eje Y:

$$U = 4,77547 \mu\text{m} + 1,05 \mu\text{m} = 5,82547 \mu\text{m}$$

Redondeando por exceso, al valor de resolución más próximo, se tendría:

$$U = \pm 8 \mu\text{m}, \text{ para el eje X (k = 2)}$$

$$U = \pm 6 \mu\text{m}, \text{ para el eje Y (k = 2)}$$

A manera de comparación con resultados reportados en la literatura, se puede citar que los valores de incertidumbres reportados por Purata Sifuentes, OJ, et al. [13], en el informe de calibración del comparador óptico, son mayores a los obtenidos por este autor. Cuanto menor sea el valor de incertidumbre, más confiabilidad tendrá el resultado de medida y más fácil será tomar decisiones [14].

Contreras, C y Meneses, JE [9] no reportan valores de incertidumbres por lo que no existe una indicación cuantitativa de la calidad del resultado de medición. Hechavarría Hernández, A y Arada Pérez, M [15] afirman que: «un resultado sin la incertidumbre asociada puede ser considerado como un resultado incompleto». Sin tal valor, los resultados de la medición no pueden ser comparados entre sí ni tampoco con los valores de referencia plasmados en las especificaciones del medio de medición [16].

Los resultados obtenidos pueden servir de referencia para cuando se realice el estudio de proyectores de perfiles similares al estudiado.

La principal limitación del trabajo radica en que los resultados que se obtienen con el proyector de perfiles son confiables solo para la iluminación diascópica y no así para la iluminación episcópica por no haberse calibrado para ese tipo de iluminación, lo cual constituye un problema no resuelto.

Conclusiones

Los resultados de la calibración arrojaron que los errores obtenidos para cada punto analizado no superan los errores máximos permisibles, por lo que no se requiere realizar ningún tipo de ajuste del equipo ni de corrección de datos. Con estos resultados se asegura que las mediciones que se realicen con el proyector son válidas y de esta forma se da cumplimiento al requisito 7.5.1 de la norma ISO 9001:2015.

Se puede concluir que la fuente de incertidumbre que tiene mayor impacto en el proceso de calibración de los ejes X e Y del proyector de perfiles es la incertidumbre debida a la repetibilidad.

Los valores de los errores e incertidumbres asociadas obtenidos proporcionan evidencia de trazabilidad y de la gestión metrológica.

Referencias

- Patil HA, Chitko SS, Kerudi VV, et al. Custom made profile projector: A new, innovative, and economical way to evaluation of tooth enamel loss after acid etching: An in vitro study. APOS Trends Orthod 2016;6:95-8. DOI 10.4103/2321-1407.177964.
- Ingle AH, Samundre RK, Lokhande, AS. Optical Profile Projector, International Journal of Research in Science & Engineering. 2017;3(2):35-45.

3. Sandeep Jeughale P, Ramesh Maval Ch. Prakash Kore R, et al. Advance Mechanical Optical Comparator, International Journal for Scientific Research & Development. 2018;6(1):68-78.
4. Badri M, Sofyan Arief D, Mahmud Solih A. et al. Sieving Machine Calibration Using a Profile Projector with Standard Method ASTM E-11 2004. Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace-Science and Engineering. 2018;57:23-33.
5. Yadav J, Raghav P, Reddy M, et al. Evaluation of enamel loss with bonding and debonding: A study with profile projector. J Indian Orthod Soc 2017;51:177-84. DOI: 10.4103/jios.jios_34_17.
6. Beckert SF. Critical analysis of Calibration and Measurement Capabilities. In XXII World Congress of the International Measurement Confederation (IMEKO 2018) Journal of Physics: Conf. Series 1065; 2018. DOI:10.1088/1742-6596/1065/2/022002.
7. Phillips SD, Estler SDT, Doiron T. et al. A Careful Consideration of the Calibration Concept. J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol. 2001;106(2):371–379. <http://dx.doi.org/10.6028/jres.106.014>
8. López Rodríguez J. Fundamentos de metrología, tolerancias y ajustes en fabricación mecánica. Cartagena, Colombia: Universidad Politécnica, CRAI; 2017. [Consultado el: 8 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/6103/isbn9788416325566.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
9. Contreras C, Meneses JE. Calibración y automatización de un proyector de perfiles usado para el control de calidad en la fabricación de perfiles plásticos extruidos. Revista Investigaciones Aplicadas. 2015;9(1):7-11.
10. Čelap I., Vukasović, I., Juričić, G. et al. Minimum requirements for the estimation of measurement uncertainty. Biochem Med. 2017;27(3):030502. <https://doi.org/10.11613/BM.2017.030502>
11. Hall BD. An opportunity to enhance the value of metrological traceability in digital systems. In: *Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT (MetroInd4.0&IoT)*, Naples, Italy; 2019. DOI 10.1109/METRO14.2019.8792841.
12. Désenfant M, Priel M. Road map for measurement uncertainty evaluation. Measurement. 2006;39(9):841–848. DOI 10.1016/j.measurement.2006.04.008.
13. Purata Sifuentes OJ, Arámburo Botello CA, Salvador Ramírez I. et al. Medición del volumen de pesas de referencia de balanzas de presión mediante comparador óptico. Revista Electrónica Nova Scientia. 2017;9(18):118 -132.
14. Mandavgade NK, Jaju SB, Lakhe RR, et al. Uncertainty of Measurement: Literature Review and some Issues. Industrial Engineering Journal. 2017;X(8):67-77.
15. Hechavarría Hernández A, Arada Pérez M. Estimación de la incertidumbre de la medición en análisis químico un caso de estudio. Revista Cubana de Química. 2017;29(1):54-72.
16. Vasilevskiy OM. Calibration method to assess the accuracy of measurement devices using the theory of uncertainty. International Journal of Metrology and Quality Engineering. 2014;5:403-11. DOI:10.1051/ijmqe/2014017.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

Yoel Portuondo Paisan. <https://orcid.org/0000-0002-0072-3001>

Realizó las mediciones de los patrones y recolección de datos. Participó en la búsqueda de información, en el diseño de la investigación, trabajo estadístico, análisis de los resultados y en la revisión crítica de su contenido así como en la redacción y aprobación del informe final.

Francisco Lafargue Pérez. <https://orcid.org/0000-0003-2048-7920>

Realizó contribuciones en el análisis e interpretación de los datos. Participó en el diseño de la investigación, trabajo estadístico, análisis de los resultados y en la revisión crítica de su contenido así como en la redacción y aprobación del informe final.

Julio Cesar Pino Tarrago. <https://orcid.org/0000-0002-0377-4007>

Colaboró con el trabajo estadístico. Apoyó en la revisión del estado del arte, análisis de los resultados y en la revisión crítica de su contenido así como en la redacción y aprobación del informe final