

MÉTODOS DE AUTOCALIBRACION

Angel E. Lamor / Daniel Marqués

Kobe Argentina / Instituto Nacional de Tecnología Industrial. CISME.

INTRODUCCION

El requisito de control de equipos de inspección, medición y ensayo exigido por las normas de calidad, ha generado la actualización y adaptación de numerosos métodos de calibración.

Muchos de estos métodos tienen referencias y antecedentes en normas y especificaciones, pero el avance tecnológico, al generar nuevas clases de instrumentos, ha llevado a desarrollar otros métodos de calibración.

La calibración puede hacerse con trazabilidad a patrones de referencia reconocidos, o pueden utilizarse en algunos casos, métodos de autocalibración, los que no requieren de patrones primarios.

El trabajo expone las características principales de los métodos de autocalibración y una aplicación práctica, utilizando el ejemplo de la calibración del Medidor de Circularidad del Laboratorio Metroológico de Kobe Centrilift Argentina.

DESARROLLO

Toda calibración se supone referida a un patrón de medida, pero esto no siempre es posible, ya que se puede carecer de medios técnicos para realizarla. Por ello se han desarrollado métodos de autocalibración, donde se prescinde del patrón de medida de referencia.

Por ejemplo, en la calibración de un micrómetro de exterior, necesitamos utilizar bloques patrones de referencia.

Para la autocalibración utilizamos el método de la redundancia.

El método de la redundancia se basa en la realización de una gran cantidad de mediciones, (redundancia de mediciones). Esto data de los orígenes de la metrología. Este método trata de modificar la estrategia de medición, de modo tal que la simetría de mediciones cancele los errores sistemáticos.

Es un método costoso y de poca aplicación práctica, pero existen situaciones donde es necesaria su aplicación.

La gran cantidad de mediciones hace que desaparezcan los errores sistemáticos, de modo que la dispersión de valores que se obtiene sea producto del error.

Un método de autocalibración puede utilizarse en la calibración de una escuadra, determinando el error angular de la misma o el control de rectitud de por ejemplo tres reglas. En ambos casos no disponemos de referencias.

Para el caso de la escuadra es necesario medir la escuadratura de una pieza y no sabemos en qué condición se encuentra nuestra escuadra.

Si medimos en dos posiciones opuestas, los errores sistemáticos desaparecen, quedándonos únicamente los errores de escuadratura de la pieza y el error angular del instrumento. Es necesario realizar una cantidad considerable de mediciones. (ver figura N° 1)

Para el caso de la determinación de rectitud de tres reglas, y si no contamos con un plano de referencia, disponemos las reglas como lo indica la figura N° 2.

Si vamos colocando las reglas de a pares, en la forma indicada, I y II; II y III; III y I; y realizamos mediciones en los distintos puntos de control, obtendremos una gran cantidad de valores. Dado que aplicamos el método de la redundancia, los errores sistemáticos se cancelan.

Podemos plantear un sistema de ecuaciones.

Generalizando:

$$L_{1-2-i} = \varepsilon_{ri-1} + \varepsilon_{ri-2} \pm S$$

$$L_{3-2-i} = \varepsilon_{ri-3} + \varepsilon_{ri-2} \pm S$$

$$L_{1-3-i} = \varepsilon_{ri-1} + \varepsilon_{ri-3} \pm S$$

Resolviendo el determinante llegamos a:

$$\varepsilon_{ri-2} = \frac{L_{1-3-i} - L_{3-1-i} + L_{2-3-i}}{2} \pm \frac{\sqrt{3}}{2} S$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones, obtenemos el error de rectitud de las tres reglas.

Debemos estar seguros de que el instrumento utilizado en las mediciones es confiable.

Se ha aplicado el método de la autocalibración para el medidor de circularidad.

Calibración del medidor de circularidad. Aplicación práctica.

El medidor de circularidad del laboratorio de metrología consta de una mesa circular giratoria, soportada por un colchón neumático, un comparador de palanca de contacto con resolución de $0,1 \mu\text{m}$ y la posibilidad de graficar sobre un gráfico polar dividido cada 30° .

La referencia del equipo es una hemiesfera de vidrio.

Dado que no se conocían ni los desvíos rotacionales de la mesa, ni los errores de la hemiesfera de referencia, se procedió a calibrarlos conjuntamente.

Partimos de la base que el comparador que está calibrado y conocemos sus errores e incertidumbre.

Se trazan sobre la mesa, puntos de referencia cada 30° , al igual que en la base de la hemiesfera, en concordancia con las doce divisiones del gráfico polar.

Ubicada la hemiesfera sobre la mesa rotativa, de modo tal que exista coincidencia entre los puntos de referencia de los tres elementos, gráfico polar, hemiesfera y mesa rotativa. Se realiza la medición en cada posición angular, obteniéndose doce sistemas con doce ecuaciones cada uno, donde tenemos:

$L_i =$ lectura directa sobre el gráfico polar.
 $\varepsilon g \alpha_i =$ error de guiado correspondiente al ángulo considerado.
 $\varepsilon H_i =$ error de la hemiesfera correspondiente a la posición relativa de la misma respecto a la mesa rotatoria.
 $C_i =$ constante que mide el descentrado de la hemiesfera en la mesa rotatoria.

$$L_1 = \varepsilon H_0 + \varepsilon g \alpha 0^\circ + C_1 \pm S$$

$$L_2 = \varepsilon H_1 + \varepsilon g \alpha 30^\circ + C_2 \pm S$$

$$L_3 = \varepsilon H_2 + \varepsilon g \alpha 60^\circ + C_3 \pm S$$

$$L_{12} = \varepsilon H_{11} + \varepsilon g \alpha 330^\circ + C_{12} \pm S$$

Realizando un giro relativo de 30° de la hemiesfera respecto de la mesa se tiene:

$$L'_1 = \varepsilon H_0 + \varepsilon g \alpha 30^\circ + C'_1 \pm S$$

$$L'_2 = \varepsilon H_1 + \varepsilon g \alpha 60^\circ + C'_2 \pm S$$

$$L'_{12} = \varepsilon H_{11} + \varepsilon g \alpha 0^\circ + C'_{12} \pm S$$

Ubicando la hemiesfera en los distintos puntos de control, hasta llegar a los 330° :

$$L^{XII}_1 = \varepsilon H_0 + \varepsilon g \alpha_{330^\circ} + C^{XII}_1 \pm S$$

$$L^{XII}_2 = \varepsilon H_1 + \varepsilon g \alpha_{30^\circ} + C^{XII}_2 \pm S$$

$$L^{XII}_3 = \varepsilon H_2 + \varepsilon g \alpha_{30^\circ} + C^{XII}_3 \pm S$$

$$L^{XII}_{12} = \varepsilon H_{11} + \varepsilon g \alpha_{300^\circ} + C^{XII}_{12} \pm S$$

Si hacemos la suma de uno de los sistemas y teniendo en cuenta que la suma de los errores de guiado y la suma de los errores de la hemiesfera se hacen cero, nos queda únicamente el error de centrado:

$$L''_1 = \varepsilon H_0 + \varepsilon g \alpha_{90^\circ} + C''_1 \pm S$$

$$L''_2 = \varepsilon H_1 + \varepsilon g \alpha_{90^\circ} + C''_2 \pm S$$

$$L''_3 = \varepsilon H_2 + \varepsilon g \alpha_{120^\circ} + C''_3 \pm S$$

$$L''_{12} = \varepsilon H_{11} + \varepsilon g \alpha_{30^\circ} + C''_{12} \pm S$$

$$\sum L_i = 0 + 12 C \pm S$$

$$\text{Donde } C'' = a_0'' + a_1'' \cos \alpha_i + a_2'' \sin \alpha_i$$

a_0'' , a_1'' y a_2'' son los componentes pertenecientes al error de centrado.

Si hacemos :

$$\mathcal{E}_{ri} = \mathcal{E}_{ga_i} + \mathcal{E}_{Hi}$$

$$\text{reemplazando nos queda } L_i = \mathcal{E}_{ri} + C_i$$

$$\mathcal{E}_{ri} = - (a_0 + a_1 \cos \alpha_i + a_2 \sin \alpha_i) + L_i$$

El sistema queda planteado de la siguiente manera :

$$\mathcal{E}_{r1} = - (a_0 + a_1 \cos 0^\circ + a_2 \sin 0^\circ) + L_1$$

$$\mathcal{E}_{r12} = - (a_0 + a_1 \cos 330^\circ + a_2 \sin 330^\circ) + L_{12}$$

Si elevamos al cuadrado cada ecuación y realizamos la sumatoria y luego hacemos la derivada parcial de la sumatoria respecto de a_0 , a_1 y a_2 e igualamos a cero que es la condición de mínimo, encontramos el valor de las componentes a_0 , a_1 y a_2 .

Reemplazando los coeficientes en los sistemas de ecuaciones ① realizamos la corrección de las lecturas por el método de los mínimos cuadrados.

$$\mathcal{E}_{r1} = L_1 - (a_0 + a_1 \cos 0^\circ + a_2 \sin 0^\circ) \pm S = \mathcal{E}_{g0^\circ} + \mathcal{E}_{H_0}$$

$$\mathcal{E}_{r12} = L_{12} - (a_0 + a_1 \cos 330^\circ + a_2 \sin 330^\circ) \pm S = \mathcal{E}_{g330^\circ} + \mathcal{E}_{H_{11}}$$

Esto es aplicado en cada sistema de ecuaciones, quedando:

$$\mathcal{E}'_{r1} = L'_1 - (a'_0 + a'_1 \cos 30^\circ + a'_2 \sin 30^\circ) \pm S = \mathcal{E}'_{g30^\circ} + \mathcal{E}'_{H_0}$$

$$\mathcal{E}'_{r12} = L'_{12} - (a'_0 + a'_1 \cos 0^\circ + a'_2 \sin 0^\circ) \pm S = \mathcal{E}'_{g0^\circ} + \mathcal{E}'_{H_{11}}$$

$$\text{Donde : } A_{12} = L_{12} - (a_0 + a_1 \cos 330^\circ + a_2 \sin 330^\circ)$$

las ecuaciones nos quedarán de la forma:

$$\mathcal{E}^{xi}_{r1} = A^{xi}_1 \pm S = \mathcal{E}^{xi}_{g330^\circ} + \mathcal{E}^{xi}_{H_0}$$

$$\mathcal{E}^{xi}_{r12} = A^{xi}_{12} \pm S = \mathcal{E}^{xi}_{g300^\circ} + \mathcal{E}^{xi}_{H_{11}}$$

Si agrupamos de todos los sistemas de ecuaciones, aquellas en donde aparece el error de la hemiesfera en el punto 0 y lo sumamos, dado que la suma de los errores de guiado se hacen cero, podemos calcular el error de la hemiesfera en dicho punto.

$$\sum_{j=0}^{j=11} A_i^j = 0 + 12 \mathcal{E}H_0 \pm \sqrt{12} S \quad \therefore$$

$$\mathcal{E}H_0 = \frac{\sum_{j=0}^{j=11} A_i^j}{12} \pm \frac{S}{\sqrt{12}}$$

Operando de igual modo con el error en todos los puntos de control, caracterizamos la hemiesfera en cada punto. $\mathcal{E}H_0, \mathcal{E}H_1, \dots, \mathcal{E}H_{11}$.

Si operamos de igual modo, pero agrupando y sumando las ecuaciones en donde aparece el error de guiado en 30° , sucede lo mismo que en el caso anterior: la suma de los errores de la hemiesfera se hacen cero y calculamos el error de guiado en dicho punto.

$$\sum_{i=1, j=0}^{i=12, j=11} A_i^j = 0 + 12 \mathcal{E}g_{30} \pm S$$

$$\mathcal{E}g_{30^\circ} = \frac{\sum_{j=0}^{j=11} A_i^j}{12} \pm \frac{S}{\sqrt{12}}$$

De esta forma obtenemos los diferentes errores de guiado de la mesa $\mathcal{E}g_{60}, \mathcal{E}g_{90}, \dots, \mathcal{E}g_{330}$. De este modo y sin tener como referencia un patrón, se determinan los errores de cada uno de estos dos elementos.

Es necesario destacar que necesitamos contar con un comparador del que conocemos sus errores.

CONCLUSION

El avance de la tecnología y la necesidad de realizar mediciones en la industria cada vez más confiables implica disponer equipamiento cada vez más sofisticados.

Esto trae aparejado el desarrollo de procedimientos específicos de calibración y la necesidad de contar con un patrón de referencia adecuado a la situación; lo que implica una posible inversión de alto costo.

Métodos como el desarrollado si bien son laboriosos dan una posible solución al problema tanto en el aspecto técnico como en el económico.

FIGURA N° 1

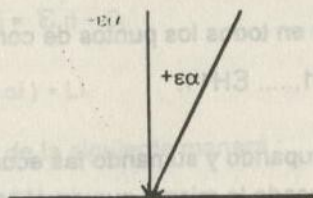
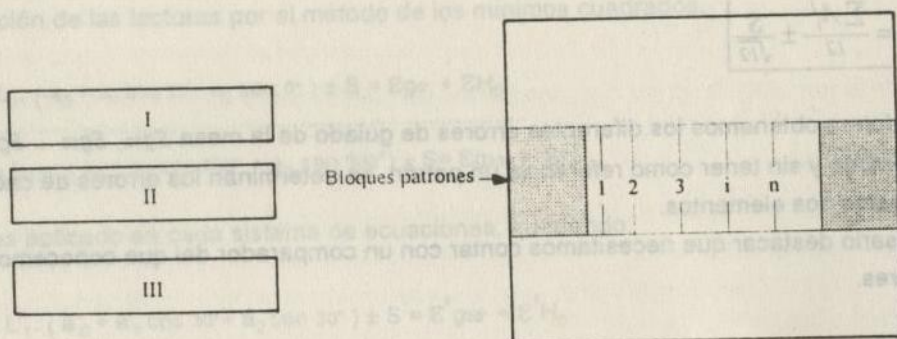


FIGURA N° 2



LAS MEDICIONES ASEGURANDO SU CALIDAD

