

Procedimiento de calibración de comparadores neumáticos ETAMIC

Jorge Alonso*

Vigo, 1999 (original)
06/2005 — v2.1.0

Índice

1. Introducción	1
2. Generalidades	1
2.1. Campo de aplicación	1
2.2. División del procedimiento	1
2.3. Verificaciones previas	2
2.4. Condiciones ambientales	2
2.5. Intervalos de calibración	2
2.6. Estadísticos empleados	2
2.6.1. Valor medio	2
2.6.2. Desviación típica de la media	2
3. Calibración de los patrones cilíndricos	3
3.1. Conversión de las desviaciones	3
3.1.1. Desviación típica	3
3.1.2. Desviación media	3
3.1.3. Radios	3
3.2. Incertidumbres de la medidora	3
3.2.1. Esfera patrón	3
3.3. Calibración	4
4. Calibración del reloj centesimal	4
4.1. Útiles necesarios	4
4.2. Calibración	4
5. Calibración del comparador neumático	5
5.1. Útiles necesarios	5
5.2. Calibración	5
6. Aplicación informática	6

1. Introducción

1 Éste es el resumen de mi proyecto de final de carrera en la *Escuela universitaria de ingeniería técnica industrial de Vigo*, titulado *Establecimiento de un proceso de calibración de comparadores neumáticos basados en un puente de Wheatstone y con empleo de calibres cilíndricos de medida*.

Fui supervisado por los profesores del *área de ingeniería de procesos de fabricación* José Luis Diéguez Quintas y Alejandro Pereira Domínguez.

Sus objetivos fueron recuperar los comparadores neumáticos ETAMIC existentes en el laboratorio, calibrarlos según las normas y procedimientos actuales, y crear una aplicación informática que facilite el empleo práctico del método desarrollado.

2. Generalidades

2.1. Campo de aplicación

El presente procedimiento de calibración es aplicable a *comparadores neumáticos basados en un puente de Wheatstone* cuyos órganos de medida sean cabezales cilíndricos (tampones o anillos); en concreto, a los ETAMIC C 60, *Elemento standard* y *Cabezal universal*.

Para poder ser objeto de certificación, los comparadores neumáticos han de estar marcados de forma permanente, como mínimo, con una etiqueta identificativa.

2.2. División del procedimiento

Este procedimiento se divide en tres partes, indicándose entre paréntesis las fuentes de donde se recibe la calibración:

*Mi correo es soidsenatas@yahoo.es, y mi página web es <http://es.geocities.com/soidsenatas/>.

- Procedimiento auxiliar de calibración de los patrones cilíndricos de diámetro (medidora de tres coordenadas).
- Procedimiento auxiliar de calibración del reloj comparador del comparador neumático (bloques patrón, de calidad 00 o 0, y mesa patrón).
- Proceso final de calibración del comparador neumático (en base a los dos procedimientos previos).

Los resultados de cada una de estas calibraciones deben registrarse convenientemente (en cualquier tipo de soporte), y anotarse en las etiquetas identificativas del elemento calibrado.

Todos estos procedimientos se ha desarrollado de acuerdo con las recomendaciones dadas por la norma ISO 10012-1 de confirmación metrológica de los equipos de medida.

2.3. Verificaciones previas

Previamente a la calibración debe realizarse una inspección visual de todos los elementos participantes, comprobando su buen estado, limpieza, escalas, partes móviles, sistemas de fijación, etc.

2.4. Condiciones ambientales

La calibración debe realizarse en un laboratorio de metrología de ambiente controlado, siendo la temperatura de 20 °C con una máxima desviación de ± 1 °C.

Si no lo están ya, cada elemento implicado en la calibración debe permanecer durante un tiempo en reposo, adaptación y estabilización en las condiciones ambientales a las que se someta. Para evitar el calentamiento durante la manipulación, es recomendable emplear guantes.

2.5. Intervalos de calibración

Los intervalos de calibración de cada elemento son:

- Comparador neumático y reloj centesimal: $T_1 = 24$ meses, $T_2 = 6$ meses.
- Patrón cilíndrico de puesta a cero: $T_1 = 2$ meses, $T_2 = 1$ mes.
- Patrones cilíndricos auxiliares de calibración: dos calibraciones del comparador neumático.

T_1 es el valor máximo admisible en condiciones normales de empleo. T_2 es el valor máximo admisible al que debe reducirse T_1 si se verifica alguna de las siguientes circunstancias especiales:

- Elevada frecuencia de uso.
- Condiciones de empleo desfavorables.
- Requisitos especiales de seguridad.

Estos intervalos son una primera aproximación, y deben ser reajustados; se recomienda el empleo del método de ajuste automático o *de escalera*: Cada vez que un elemento se somete al proceso de calibración, el intervalo posterior se amplía si el equipo permanece dentro de los límites de tolerancia, o se reduce si está fuera.

En todo caso, ha de procederse a una recalibración cuando se haya efectuado una reparación (como consecuencia de un fallo o accidente), o cuando los resultados que se obtengan hagan dudar del correcto estado del equipo.

2.6. Estadísticos empleados

Se emplearán en los cálculos el *valor medio* y la *desviación típica de la media*, que a continuación se describen.

2.6.1. Valor medio

Al realizar n veces una misma medida de una magnitud X en condiciones de repetibilidad, se obtienen una serie de valores x_i , cuyo *valor medio* o *media* μ es:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum x_i$$

$\sum x_i$ indica la suma de todos los valores x_i (por simplificación, se obvian los límites del recorrido de los valores del subíndice i : desde 1 hasta n).

2.6.2. Desviación típica de la media

La incertidumbre que se asignará a μ se obtendrá de la *desviación típica de la media* s , cuyo cuadrado s^2 , llamado *varianza típica de la media*, está dado por:

$$s^2 = w_n^2 \frac{\sum x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum x_i)^2}{n(n-1)}$$

El coeficiente adimensional w_n se obtiene de la siguiente tabla:

n	w_n
≥ 10	1
9	1,2
8	1,2
7	1,3
6	1,3
5	1,4
4	1,7
3	2,3
2	7

3. Calibración de los patrones cilíndricos

Para el uso normal del comparador neumático se precisa un *patrón de puesta a cero*, con el que es reglado, y así tenga una cota de referencia desde la que hacer comparaciones. Para la calibración del comparador neumático se precisan, además, otros patrones, denominados *patrones auxiliares de calibración*.

Este procedimiento de calibración ha de realizarse en una medidora de tres coordenadas, y es válido para ambos tipos, independientemente de si se trata de taponos o anillos.

Se empleará un número $t + 1$ de patrones cilíndricos, para poder disponer de t intervalos o puntos de calibración, respecto a uno de los patrones. Estos intervalos se establecen, con valores aproximadamente iguales (valor absoluto de la diferencia entre el diámetro nominal del patrón que se mide y el del usado de referencia), de forma que cubran todo el campo de medida del comparador.

3.1. Conversión de las desviaciones

La medidora de tres coordenadas siempre proporciona, además del valor de la característica medida, un valor de desviación, el cual cuantifica la dispersión de los puntos de palpado tomados, respecto al elemento ideal calculado. Este valor hay que convertirlo a s o s^2 .

Las siguientes conversiones son válidas para cilindros y esferas (las desviaciones se refieren al radio medio R):

3.1.1. Desviación típica

Cuando indica la desviación típica σ o σ_{n-1} , o bien la varianza σ^2 o σ_{n-1}^2 , la conversión es:

$$s = \frac{w_{n_T}}{\sqrt{n_T}} \sigma_{n-1} = \frac{w_{n_T}}{\sqrt{n_T - 1}} \sigma$$

n es el número de puntos de palpado y $n_T = n - 4$.

3.1.2. Desviación media

Se toma $(\Delta R)_{\text{máx}} = \Delta x$, y entonces:

$$s = \frac{(\Delta R)_{\text{máx}}}{\sqrt{3}}$$

3.1.3. Radios

Si proporciona los radios máximo y mínimo, $R_{\text{máx}}$ y $R_{\text{mín}}$, se toma como máxima variación en el radio $(\Delta R)_{\text{máx}}$ el mayor valor de: $R_{\text{máx}} - R$ y $R - R_{\text{mín}}$.

Si proporciona $R_{\text{máx}} - R_{\text{mín}}$, se toma este valor como $(\Delta R)_{\text{máx}}$. La conversión se obtiene de la fórmula del punto precedente.

3.2. Incertidumbres de la medidora

Hay dos componentes de la incertidumbre que son debidas a la máquina de medición por coordenadas:

Incertidumbre de la medidora: Estará expresada de la forma $I_M(k_M)$, donde $I_M = k_M U_M$. El valor que interesa para los cálculos es U_M .

Incertidumbre de los palpadores: Este valor, s_P , puede estar documentado, o puede obtenerse de la propia máquina al iniciar la sesión de trabajo. En el caso del uso de varios palpadores para la medida de un mismo elemento, se tomará el mayor valor de los implicados.

3.2.1. Esfera patrón

Puede calibrarse un palpador con la propia máquina de medición, con el auxilio de una esfera patrón calibrada de incertidumbre $U_S = I_S/k_S$. Esto se efectúa midiendo la esfera patrón con dicho palpador. Se recomienda emplear $n = 14$ puntos de palpado. La máquina suministrará un valor de desviación, que debe convertirse en una desviación típica de la media s_{PM} . La desviación s_P atribuible a dicho palpador se obtiene de:

$$s_P^2 = s_{PM}^2 + U_S^2 + U_M^2$$

3.3. Calibración

La calibración se realiza midiendo el patrón cilíndrico como lo que es, un cilindro de diámetro nominal D_0 . Se emplearán n puntos de palpado tomados, aproximadamente, de forma equidistante en toda la superficie cilíndrica útil del patrón. Se recomienda $n = 36$.

La máquina de medición proporciona entonces directamente el valor de D (que debe estar dentro del campo de medida del comparador neumático, de lo contrario el patrón cilíndrico no sirve), y un valor que permite calcular la desviación típica de la media, s , para $D/2$. La incertidumbre asignada a D , U_D , se obtiene de:

$$U_D^2 = 4(s^2 + s_p^2 + U_M^2)$$

La desviación ΔD al diámetro nominal es $\Delta D = D - D_0$. Se consideran dos opciones:

- Si es admisible, debe corregirse el valor del patrón. Es decir, que en vez de indicar el valor D_0 indique ahora el nuevo valor D ; entonces $\Delta D = 0$. Esto también engloba el caso de que se obtenga $D_0 = D$.
- Si no se corrige, o bien esto no es admisible, entonces aparece una nueva componente en la incertidumbre del patrón, U_Δ :

$$U_\Delta^2 = \frac{(\Delta D)^2}{3}$$

La incertidumbre final asociada al patrón cilíndrico de diámetro considerado, U_{PC} , se obtiene de (tomando $n_T = n - 4$):

$$U_{PC}^2 = w_{n_T}^2 (U_D^2 + U_\Delta^2)$$

4. Calibración del reloj centesimal

El reloj comparador del comparador neumático ETA-MIC es un reloj comparador mecánico centesimal de carrera reducida con cero central. Para evitar confundirlo con el propio comparador neumático, se le denominará *reloj centesimal*.

4.1. Útiles necesarios

Se precisan:

- Un soporte lo suficientemente rígido y graduable para el reloj, de forma que su eje de palpado esté siempre perpendicular a la superficie a verificar.

- Un montaje en escalera de $t + 1$ bloques patrón, sobre un patrón de planitud. Así se dispondrá de t intervalos o puntos de calibración, que se establecerán, con valores aproximadamente iguales, de forma que cubran todo el campo de medida del reloj comparador. Para este reloj centesimal se recomiendan los siguientes $t + 1 = 9$ bloques patrón (mm):

1,000	1,300	1,600
1,100	1,400	1,700
1,200	1,500	1,800

Para su empleo se procede a realizar la adherencia de los bloques patrón sobre el patrón de planitud, formando una escalera.

Los bloques patrón a utilizar han de ser de calidad 00. Puede admitirse también el empleo de bloques patrón de calidad 0, siempre que se disponga de su desviación al nominal, con una incertidumbre menor o igual a $0,05 \mu\text{m}$; para el patrón de planitud es deseable poder asegurar una desviación de planitud inferior a $0,1 \mu\text{m}$. En la siguiente tabla se da, a título indicativo, la incertidumbre del patrón así formado:

Calidad de los bloques patrón	Desviación al nominal	I_0 ($k_0 = 3$)
00	Conocida	$0,02 \mu\text{m}$
00	Desconocida	$0,05 \mu\text{m}$
0	Conocida	$0,05 \mu\text{m}$

El valor a emplear en los cálculos es $U_0 = I_0/k_0$.

4.2. Calibración

Montada la escalera de bloques, con el comparador sobre un soporte adecuado, y tomando como origen el bloque menor (en la división de menor valor en la escala del reloj), se procede a medir n veces la diferencia de alturas entre el bloque origen y todos los demás. Se recomienda emplear el valor $n = 10$.

Esta operación, una vez concluida, se repite, pero tomando como origen el bloque mayor (en la división de mayor valor en la escala del reloj), efectuando las medidas en sentido decreciente.

Se ha de considerar, en cada uno de los t saltos crecientes y t decrecientes, los siguientes puntos:

- El valor nominal del salto Y es la diferencia, en valor absoluto, entre la cota del patrón que se mide y la cota del patrón de referencia.

- Sean x_i , con i desde 1 hasta n , cada uno de las n valores que se obtienen en un salto Y : Diferencias de cota, en valor absoluto, entre el patrón de referencia y el que se mide.

Se calculan entonces:

- El valor medio μ de las x_i .
- La corrección de calibración: $\Delta Y = \mu - Y$.
- La varianza típica de la media s^2 de las x_i .

La incertidumbre U del salto considerado se obtiene de:

$$U^2 = U_0^2 + \frac{(\Delta Y)^2}{3} + s^2$$

De los valores de U^2 en cada salto, tanto los medidos en sentido creciente como en sentido decreciente, se escoge su valor máximo $U_{\text{máx}}^2$. El cuadrado de la incertidumbre del reloj, U_{RC}^2 , se calcula entonces mediante:

$$U_{RC}^2 = w_{2t}^2 U_{\text{máx}}^2$$

5. Calibración del comparador neumático

Se calcula el *coeficiente de amplificación neumática* del comparador neumático, C_A , dividiendo el valor de la apreciación del reloj comparador, $A_{RC} = 0,01\text{mm} = 10\mu\text{m}$, entre el valor de la apreciación del comparador neumático A_{CN} : $C_A = A_{RC}/A_{CN}$

5.1. Útiles necesarios

Se usarán $t + 1$ patrones cilíndricos, para poder disponer de t intervalos o puntos de calibración, respecto a uno de los patrones. Estos intervalos se establecerán, con valores aproximadamente iguales, de forma que cubran todo el campo de medida del comparador. Tanto los patrones empleados como el reloj centesimal deben estar correctamente calibrados.

5.2. Calibración

Tomando como origen el patrón cilíndrico menor (en la división adecuada de la escala del reloj), se procede a medir n veces la diferencia de cotas entre el patrón origen y todos los demás. Es decir, cada salto de cotas se mide n veces, retirando, tras cada medida, el patrón

correspondiente del calibre de medida, y volviéndolo a introducir; repitiendo la operación las n veces, para proseguir con el siguiente salto. Se recomienda $n = 10$.

Esta operación, una vez concluida, se repite, pero tomando como origen el patrón cilíndrico mayor, efectuando las medidas en sentido decreciente.

Se ha de considerar, en cada uno de los t saltos crecientes y t decrecientes, los siguientes puntos:

- Sea Y_{CR} la cota del patrón de referencia, cuya incertidumbre es U_{CR} .
- Sea Y_{CM} la cota del patrón que se mide, cuya incertidumbre es U_{CM} .
- El valor nominal del salto es $Y = |Y_{CM} - Y_{CR}|$.
- Sean x_i , con i desde 1 hasta n , cada uno de las n valores que se obtienen en un salto Y : Diferencias de cota, en valor absoluto, entre el patrón de referencia y el que se mide.

Se calculan con ellos:

- El valor medio μ de las x_i .
- La corrección de calibración $\Delta Y = \mu - Y$.
- La varianza típica de la media s^2 de las x_i .

El cuadrado de la incertidumbre de cada salto es:

$$U^2 = U_{CR}^2 + U_{CM}^2 + \frac{(\Delta Y)^2}{3} + s^2 + \left(\frac{U_{RC}}{C_A}\right)^2$$

De los valores de U^2 , tanto los medidos en sentido creciente como los medidos en sentido decreciente, se toma su valor máximo $U_{\text{máx}}^2$. La incertidumbre U_{CN} del comparador es:

$$U_{CN} = w_{2t} U_{\text{máx}}$$

Finalmente, la incertidumbre I_{CN} del comparador neumático es:

$$I_{CN} = k_{CN} U_{CN}$$

Se tomará k_{CN} entre 2 y 3; el valor que se aplique debe especificarse entre paréntesis al lado del valor de I_{CN} .

La incertidumbre asignada se refiere a las condiciones de calibración establecidas, siendo responsabilidad del usuario evaluar las correspondientes correcciones e incrementar dicha incertidumbre si el comparador neumático se utiliza en condiciones diferentes de aquellas.

6. Aplicación informática

La aplicación informática *Calibración de Comparadores Neumáticos marca ETAMIC* permite realizar completamente el presente procedimiento de calibración. Está diseñada de forma que:

- Sirve como hoja de toma de datos.
- Proporciona los resultados inmediatamente, evitando que el operador realice los cálculos.
- Conserva todos los valores implicados en los cálculos, para posteriores consultas.
- Aprovecha los resultados de las calibraciones auxiliares para la calibración final del comparador neumático.
- Imprime la correspondiente hoja de intervención de calibración.