

.....

Diseño, construcción y automatización de un sistema de calibración de peso entre 100g a 500g, según la NTC 1848:2007

Design, construction and automation of a calibration system of weights between 100g and 500g, according to NTC 1848:2007

*Camilo A. Soto**, *John E. Corredor***, *Adolfo Jaramillo****, *Diana M. Marulanda*****



Abstract

Nowadays automation has an important place in metrology, because allows to improve the quality of the measurement results.

This paper presents the design, construction and automation of a system for calibration of weights between 100 g and 500 g, which consists of an artificial vision system employed to determinate the standard and test masses. A rail system guided by a control loop performs weighting and comparison cycles; the data obtained is exported to a spreadsheet program in such way that at the end of the process it is possible to directly print the calibration certificate for each weight.

The system reduces some errors generated by handling of the operators, such as eccentricity (incorrect weight placement), repeatability (force used to place the weights on the scale) and heat transfer from operator to weights.

The system construction has been made inside of a climatic chamber, thereby the problems caused by temperature and humidity changes will be reduce significantly, decreasing the uncertainty by air buoyancy.

This system offers an alternative to calibration systems used today, which improves weight calibration (measurement, accuracy and precision), decrease operative time, acquisition and maintenance costs because it reduces the space to be controlled and automates most of the manual process

Keywords: Metrology, calibration, artificial vision, uncertainty.

Fecha Recibido: 2013-08-19

Fecha Aprobado: 2013-10-14

* Universidad Antonio Nariño, camsoto@uan.edu.co

** Universidad Antonio Nariño, johcorredor@uan.edu.co

*** Ph.D., Ph.D., Universidad Distrital, Grupo LIFAE,CIDC, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, ajaramillom@udistrital.edu.co,

**** PhD, Ing. Electrónico, Universidad Antonio Nariño, dmarulanda@uan.edu.co

Resumen

Actualmente la automatización juega un papel importante en el campo de la metrología, dado que permite aumentar la calidad de los resultados de las mediciones.

En este artículo se presenta el diseño, construcción y automatización de un sistema de calibración de pesas entre 100g y 500g, constituido por un sistema de visión artificial para determinar la masa prueba y la masa patrón. Un sistema de rieles guiados por un lazo de control realizan el ciclo de pesaje y comparación; los datos obtenidos se exportan a una hoja de cálculo para imprimir el certificado de calibración al terminar el proceso. Todo el proceso sigue la normativa técnica colombiana 1848:2007.

El sistema reduce algunos errores generados por la manipulación humana, entre estos: excentricidad (ubicación incorrecta de masas), repetibilidad (fuerza con que se ubica la pesa sobre el platillo), y transferencia de calor del operario hacia las masas.

La construcción del sistema se realiza al interior de una cabina de ambiente controlado, por lo tanto los problemas generados por los cambios de temperatura y humedad relativa serán reducidos significativamente, disminuyendo la incertidumbre por empuje de aire.

Con este sistema se ofrece una alternativa a los sistemas de calibración existentes actualmente, que mejora la calidad en la calibración (exactitud y precisión en la medición), disminuye tiempos de operación y reduce costos de adquisición, adecuación y mantenimiento, ya que se reduce el espacio controlado y se automatiza gran parte del proceso manual.

Palabras clave: Metrología, Calibración, visión artificial, incertidumbre.

1. Introducción

Cada día la automatización asiste a más sectores de la industria, y en especial la metrología en todo lo referente a instrumentos de pesaje. Los avances han sido presentados como modelos de utilidad y su potencial aumenta cada día, puesto que la metrología es una disciplina que cada vez gana más terreno e importancia en la industria por su aporte a la productividad y a la calidad de los productos y procesos [1].

Actualmente el proceso de calibración de pesas se realiza siguiendo la norma Icontec NTC 1848:2007 [2], que recomienda el método de doble sustitución, el cual está basado en [3]. El objetivo de este método es determinar la masa convencional de una pesa muestra, comparando la fuerza gravitacional que ésta pesa ejerce sobre un plato receptor de carga de una balan-

za, con la fuerza ejercida por la pesa patrón del valor nominal correspondiente.

El procedimiento de calibración se conoce como método ABBA, o doble sustitución ya que se realiza la siguiente secuencia [2]:

- Se coloca la pesa patrón sobre la balanza, se toma el dato y se retira.
- Se coloca la pesa muestra sobre la balanza, se toma el dato y se retira.
- Se coloca de nuevo la pesa muestra sobre la balanza, se toma el dato y se retira.
- Se coloca de nuevo la pesa patrón sobre la balanza, se toma el dato y se retira.

La norma NTC 1848:2007 [2] estipula que el número de veces que se repite esta secuencia depende de la clase de la pesa muestra. Si la

pesa muestra es clase M (exactitud media), la secuencia se debe repetir 2 veces o más; si dicha muestra es tipo F (exactitud fina), la secuencia debe repetirse 3 veces o más y si la muestra es clase E (exactitud especial), el número de repeticiones de la secuencia debe ser mínimo 5. Estas repeticiones son necesarias para tener suficientes datos y poder realizar el tratamiento estadístico que determina si la pesa cumple con los errores máximos permitidos (EMP).

El proceso de calibración depende enteramente de la agilidad, experiencia y disposición del operario que realiza el procedimiento. Esto genera algunos problemas en el proceso:

- Requiere tiempos de calibración muy largos.
- Aumento de la incertidumbre en la medición, causado por la transferencia de calor desde el operario hacia las masas muestra.
- No es posible asegurar que el operario coloque las pesas exactamente en la misma posición sobre el platillo de la balanza, lo cual genera un error de excentricidad que disminuye la calidad de la calibración.
- La repetibilidad del proceso disminuye debido a que el operario no coloca con la misma fuerza las pesas tanto muestra como patrón sobre el platillo de la balanza, excitando de diferente manera el elemento sensor entre una prueba y otra.

El único sistema automático que actualmente existe para realizar este procedimiento minimizando estos problemas se conoce como comparador de masas [4],[5], el cual se utiliza para determinar las diferencias entre las masas de calibración y un peso de referencia; este sistema es utilizado principalmente por los laboratorios de calibración de pesas y masas. El comparador está diseñado para realizar la calibración de pesas en clases E, F, y M, pero solo soportan un valor nominal. Este comparador está constituido por 2 componentes: un módulo electrónico y un preciso sistema de medida mecánico, que garantiza la eliminación de la influencia de la temperatura en los indicadores del compa-

rador. El comparador se ubica dentro de una cabina fabricada de vidrio o metal, para evitar la influencia de energía electrostática y de calor (provenientes del módulo de electrónica de potencia) en los resultados del peso. Tanto la cabina como el comparador se deben ubicar en un cuarto controlado en temperatura y humedad para asegurar que las condiciones ambientales sean las requeridas por la NTC 1848:2007.

De acuerdo a otros trabajos realizados y experiencias industriales [1],[2], los principales problemas que presentan estos equipos, y cuya solución se propone en este trabajo son:

- El comparador es muy costoso y difícil de conseguir, lo que conlleva a que únicamente los grandes laboratorios nacionales puedan costearlo.
- El sistema se debe adecuar cuando se hace un cambio de valor nominal en la masa muestra, lo que conlleva a pérdidas de tiempo.

Estos comparadores deben operar en un cuarto controlado y por tanto los costos aumentan significativamente; adicionalmente, el mantenimiento y respaldo técnico de estos equipos en nuestro país es muy limitado, ya que esta tecnología aún no ha sido suficientemente difundida y generalmente es necesario importar tanto los repuestos como el servicio de mantenimiento.

De acuerdo a lo anterior, en este trabajo se presenta un sistema automático de calibración de pesas que disminuye los errores causados por la intervención humana y reduce significativamente el tiempo de duración del proceso, adicionalmente puede realizar la calibración de múltiples pesas de diferente valor nominal simultáneamente y a un costo inferior que los sistemas disponibles en el mercado.

2. Materiales

El sistema diseñado está compuesto por los siguientes elementos: 1.Cabina, 2.Carro longitudinal, 3.Balanza digital, 4.Carro de izaje, 5.Plataforma giratoria, 6.Bomba de vacío, 7.Cámara

Fig. 1. Sistema de calibración

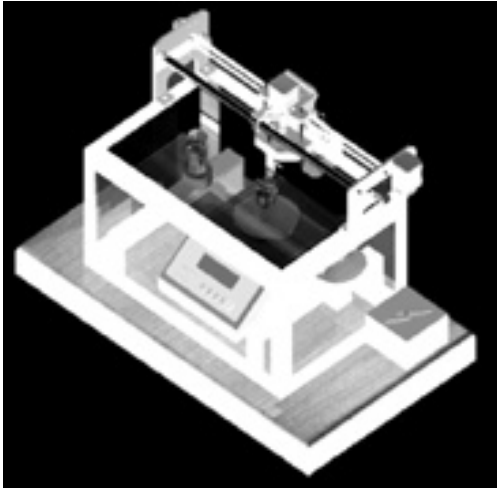
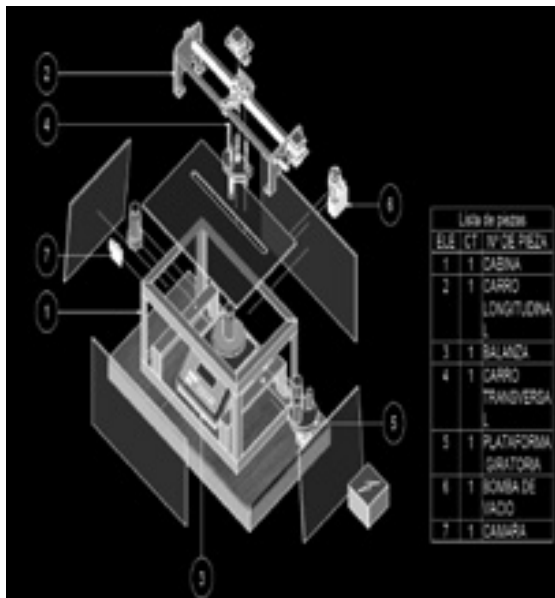


Fig. 2. Despiece



La cabina (1) consta de un marco en acero con paredes en acrílico para aislar el sistema del entorno, ayudando a mantener las condiciones ambientales idóneas para el proceso de calibración.

El carro longitudinal (2) está conformado por un sistema de poleas y correa sincrónicas que movidas por un motor paso a paso se encargan del desplazamiento longitudinal de las pesas al interior de la cabina, asegurando un posicionamiento preciso.

La balanza (3) es el medio de comparación entre la masa patrón y la masa bajo prueba, tiene un

rango entre 0 y 600 gramos y una resolución de 0.01 g, adicionalmente tiene un puerto de comunicación serial RS-232, que permite realizar el envío de datos hacia un PC que se encarga de emitir el certificado de calibración.

El carro de izaje (4) se encarga de posicionar las pesas sobre la balanza, consta de un motor paso a paso que gira un tornillo con rosca cuadrada para subir y bajar una placa que iza un eje cuyo sistema de sujeción para levantar la pesa es una ventosa.

El motor paso a paso se encarga de girar una plataforma (5) que soporta las tres pesas patrones, la función de este sub-conjunto es posicionar la pesa patrón y la pesa muestra del mismo valor nominal frente a frente, paralelo al carro longitudinal para empezar el proceso de comparación.

La bomba de vacío (6) es la encargada de generar la presión negativa, hasta -16 pulgadas de mercurio, que es la presión necesaria para que la ventosa se adhiera a la pesa y pueda ser levantada durante el proceso de calibración.

Finalmente, la cámara digital es la encargada de determinar cuál es la masa muestra presente en el sistema, esto para enviar el dato necesario para posicionar la plataforma giratoria con la masa patrón correspondiente para iniciar el proceso de calibración por comparación.

3. Metodología

En esta sección se presenta una descripción detallada de los pasos a seguir para realizar la calibración de las pesas. (Ver Fig. 3).

El alistamiento del sistema corresponde a la ubicación de la pesa muestra en la posición correspondiente, a partir de este momento el sistema inicia el registro de la temperatura al interior de la cabina para asegurar que las condiciones ambientales correspondan con las indicadas por la norma NTC 1848:2007. La pesa debe permanecer al menos dos horas al interior de la cabina para asegurar que ha alcanzado el equilibrio térmico. Posteriormente se realiza la adquisición de la imagen y la segmentación correspondiente para determinar el valor nominal de la pesa muestra

para así comprobar que se cuenta con el patrón adecuado para la calibración. La plataforma giratoria se activa hasta ubicar la pesa patrón en posición para iniciar la calibración. En este punto se evalúa si la temperatura ha sido estable durante el tiempo de estabilización y se procede a seleccionar el ciclo de calibración correspondiente a la clase de exactitud de la pesa. Adicionalmente se evalúa que la balanza se encuentre encendida durante media hora antes de iniciar el ciclo de calibración.

Si las condiciones descritas anteriormente se cumplen, se inicia el proceso de comparación siguiendo el método de doble sustitución (Método ABBA), para lo cual el carro longitudinal se desplaza hasta ubicarse sobre la pesa patrón. Al detenerse un tornillo sin fin gira para desplazar hacia abajo el carro de izaje, el cual cuenta con una ventosa para sostener la pesa. Cuando la ventosa está en posición se activa una bomba de vacío y el carro de izaje vuelve a su posición superior, acto seguido el carro longitudinal transporta la pesa hasta el centro de la balanza, para liberarla de forma suave y controlada.

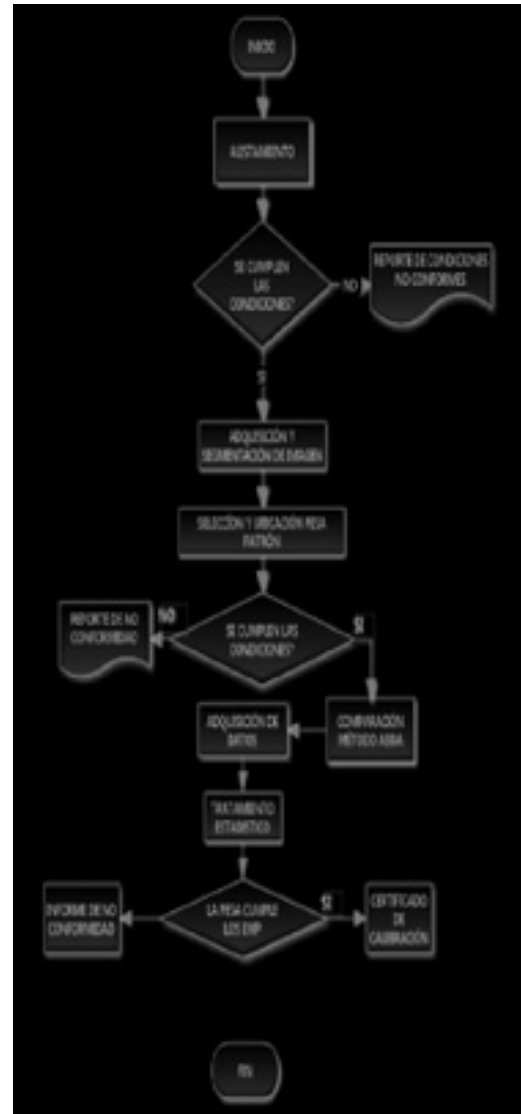
Cuando la balanza alcanza una lectura estable envía el valor leído de peso a una hoja de cálculo donde se almacena. Luego se repite la secuencia anterior para llevar la pesa patrón a la plataforma giratoria de donde fue retirada. Este mismo ciclo se realiza para llevar la pesa muestra a la balanza y se repite hasta 10 veces de acuerdo a lo indicado en NTC 1848:2007. Al finalizar todos los ciclos de medición, se inicia el tratamiento estadístico de los datos obtenidos para así determinar la masa convencional de la pesa muestra y la incertidumbre asociada a la calibración.

Tratamiento de datos

Con los datos se obtienen cuatro valores por cada ciclo, se repite n veces dependiendo de la clase de exactitud de la pesa bajo prueba. Con los valores obtenidos se realizan las siguientes operaciones dictadas por la norma [2].

Inicialmente se calcula la diferencia (valor medio) de indicación, a partir de los valores obtenidos del patrón y de la muestra así:

Fig. 3. Diagrama de flujo del sistema de calibración



$$I_{m-p} = \frac{I_{m1} + I_{m2} - I_{p1} - I_{p2}}{2} \quad (1)$$

I_m Indicación masa muestra

I_p Indicación masa patrón

Luego se calcula la diferencia de masa convencional Δm_c , entre la muestra m_{cn} y la pesa de referencia m_{cp} así:

$$\Delta m_c = m_{cn} - m_{cp} \quad (2)$$

$$\Delta m_c = I_{m-p} - m_{cp} C_i \quad (3)$$

Donde:

$$C_i = (\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_m} - \frac{1}{\rho_{ref}} \right) \quad (4)$$

ρ_m = Densidad pesa muestra

ρ_{ref} = Densidad de referencia

C_i = Flotabilidad del aire

ρ_a : Densidad del aire

ρ_0 : 1,2 kg*m⁻³

El promedio de la diferencia de la pesa convencional

$$\overline{\Delta m_c}$$

para n ciclos es:

$$\overline{\Delta m_c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta m_{ci} \quad (5)$$

La masa convencional de la muestra se calcula con la siguiente ecuación:

$$m_{m_i} = m_p + \overline{\Delta m_c} \quad (6)$$

La incertidumbre expandida se determina teniendo en cuenta los aportes dados por: el instrumento de pesaje, la masa patrón, la desviación de las lecturas y el empuje del aire.

La incertidumbre estándar debido a la pesa convencional del patrón, $U(m_p)$, se obtiene de su certificado de calibración, y se divide en su factor de cobertura k .

$$u(m_p) = \frac{U}{k} \quad (7)$$

La incertidumbre estándar debida a la corrección de flotabilidad del aire, $U(CI)$ se calcula según lo descrito en el anexo C párrafo C.6.3 de la recomendación internacional OIML R 111-1 el cual se relaciona a continuación:

$$u^2(C_i) = \left[m_p \frac{(\rho_{ref} - \rho_m)}{\rho_{ref} \rho_m} u(\rho_a) \right]^2 + \left[m_p (\rho_a - \rho_0) \right]^2 \frac{u^2(\rho_m)}{\rho_m^4} + m_{cp} (\rho_a - \rho_0) \left[(\rho_a - \rho_0) - 2(\rho_{al} - \rho_0) \right] \frac{u^2(\rho_{ref})}{\rho_{ref}^4} \quad (8)$$

ρ_a = Densidad del aire

Para la incertidumbre estándar debido al instrumento de pesaje, $U(b_a)$ se aplica la siguiente formula en la cual se tiene en cuenta la combinación de la incertidumbre de la balanza, el error de excentricidad y el error debido a la resolución:

$$u^2(b_a) = \left(\frac{\frac{d_1}{d_2} \delta e}{\sqrt{12}} \right)^2 + \left(\frac{d}{\sqrt{6}} \right)^2 \quad (9)$$

δe : error de excentricidad

d_1 : diámetro de la pesa a calibrar

d_2 : diámetro del receptor de carga de la balanza

d : División de escala de la balanza

Para el cálculo de incertidumbre estándar combinada se aplica la ley de propagación de incertidumbres y calcula la incertidumbre estándar combinada así:

$$u_c(m_{cm}) = \sqrt{u(m_{cp})^2 + u(\delta m_p)^2 + u(C_i)^2 + u(b_a)^2} \quad (10)$$

El número efectivo de grados de libertad ν_{eff} se determina mediante la fórmula de Welch-Satterthwaite:

$$\nu_{eff} = \frac{u_c(m_{cm})^4}{\left(\left(\frac{u(b_a)}{50} \right)^2 + \left(\frac{u(m_p)}{50} \right)^2 + \left(\frac{u_A(\Delta m_c)}{50} \right)^2 \right)} \quad (11)$$

La incertidumbre total expandida para una cobertura del 95,45%, está dada por la siguiente ecuación:

$$U = 2 \cdot u_c(m_{cm}) \quad (12)$$

U = Incertidumbre expandida

Finalmente para cada pesa, la masa convencional m_c , (determinada con una incertidumbre expandida) no debe diferir del valor nominal de la masa patrón, m_o , por más de la diferencia del error máximo permisible (δm) y la incertidumbre expandida (U):

$$m_o - (\delta m - U) \leq m_c \leq m_o + (\delta m - U) \quad (13)$$

Resultados

Tabla 1. Resultados observados

| Valor Nominal | Incertidumbre declarada | Incertidumbre expandida | Corrección | Valor masa convencional | Max. error Permitido NTC 1848 |
|---------------|-------------------------|-------------------------|------------|-------------------------|-------------------------------|
| 100 g | ±3.33 mg | ±1.07 mg | -1.445 | 100 g - 1.4 mg | ±5.0 mg |
| 200 g | ±3.33 mg | ±0.94 mg | -0.432 | 200 g -0.43 mg | ±10.0 mg |
| 500 g | ±8.33 mg | ±2.43 mg | 7.084 | 500 g + 7.08 mg | ±25.0 mg |

De acuerdo a los resultados observados Tabla 1., se comprobó que el sistema cumple con los requerimientos técnicos para realizar la calibración, adicionalmente la incertidumbre expandida es inferior al máximo permitido, lo cual es un indicador de la alta confiabilidad del sistema.

El tiempo de calibración promedio observado de una pesa fue de 10 minutos luego de finalizar la estabilización

Al usar el sistema por largos periodos de tiempo no se evidenciaron inconvenientes, no aumentó el calor al interior de la cabina y la estabilidad en el movimiento de las pesas fue permanente.

Conclusiones

El sistema de calibración permite disminuir los errores generados por la manipulación humana, aumentó la repetibilidad, la reproducibilidad y la precisión, adicionalmente permite mantener la estabilidad y homogeneidad del ambiente al interior de la cámara lo cual aumenta la calidad de la calibración.

Es una alternativa a los sistemas existentes actualmente, con las ventajas de ser más económica, sencilla, y es el único sistema totalmente portátil, para el cual el conocimiento técnico es menos exigente para su uso. La construcción de la cabina, aísla el sistema del ambiente y permite soportar los mecanismos de movimiento sin que estos aporten calor al momento de la calibración.

Dado que el sistema es totalmente automático, se puede utilizar continuamente evitando los inconvenientes por trabajos repetitivos y fatiga de personal cuando realiza la misma tarea.

Referencias

- [1] European Patent Office. Shandong Measurement Science Res Inst. *Horizontal loading device 2012*. [En línea] <http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=6&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20120627&CC=CN&NR=202284969U&KC=U> [Citado en 29 de septiembre de 2013]
- [2] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. *Pesas de clases E1, E2, F1, F2, M1, M2. Parte 1: Requisitos metrológicos y técnicos. Generalidades. Bogotá.2007* (NTC 1848:2007)
- [3] Organisation Internationale de Métrologie Légale. *Weights of Classes E1, E2, F1, F2, M1, M1-2 M2, M2-3, M3 Part 1: Metrological and Technical Requirements 2004*
- [4] Mettler Toledo. *Catálogo de productos*. [En línea] <http://co.mt.com/lac/es/home/products/Laboratory_Weighing_Solutions/Mass_comparators/Automated_mc.html> [Citado en 29 de septiembre de 2013]
- [5] Sartorius. *Catálogo de productos*. [En línea] <http://www.sartorius.es/es/productos/laboratorio/>; [Citado en 29 de septiembre de 2013]