

COMPENSADOR DE TEMPERATURA PARA CELDAS DE CARGA

¹Roberto Salas, ²M. Velasco

¹MIDE, Metrología Integral y Desarrollo S. A. de C. V., Querétaro, México.

²CENAM (Centro Nacional de Metrología), Querétaro, México.

Tel/Fax: (442) 243 88 44/243 88 45, E-mail: mide2004@prodigy.net.mx

Resumen: En un proceso de medición ordinario los cambios de temperatura ambiental inducen errores de medición que exceden las especificaciones de exactitud de las celdas de carga de alta exactitud. En este documento se presenta un método de compensación para disminuir los efectos de la temperatura ambiente sobre la respuesta de un tipo de celdas de carga de alta exactitud.

1. INTRODUCCIÓN

De todos los componentes que forman parte de un sistema de medición el sensor es la fuente de información mas crítica de un sistema, ya que su respuesta depende de las condiciones ambientales, además de la magnitud para la cual fue diseñado. La práctica muestra que variaciones pequeñas de temperatura afectan significativamente a la respuesta de las celdas de carga con auto-compensación [1].

A pesar de esto no existe un sistema comercial que permita la compensación de este efecto, de manera que las celdas de carga de alta exactitud proporcionen una respuesta independiente de la temperatura en el intervalo de operación.

El efecto de las variaciones de temperatura en la aplicación de las celdas de carga es mencionada de forma abstracta en la mayoría de las bibliografías. En algunos de ellos se menciona la importancia de la estabilización de la celda de carga a la temperatura de trabajo [2]. *La Norma ISO 376 sólo especifica que la fuerza aplicada al instrumento debe ser usada a la temperatura en la cual fue calibrada, si la temperatura es diferente una corrección debe ser realizada* [3]. Se evita mencionar el tiempo de estabilización requerido por ambientación, la respuesta de la celda de carga a los cambios de temperatura, y las variaciones máximas permisibles que no afecten la exactitud de la medición.

En este documento se presenta un método de compensación dinámico con el objetivo de disminuir

los efectos causados por la variación de temperatura del medio ambiente en la respuesta de las celdas de carga de alta exactitud. Este método se basa en la identificación de un modelo ARMAX para describir la relación que existe entre la respuesta de la celda y la variación de la temperatura ambiente.

Las pruebas se realizaron en el CENAM, usando celdas de carga de alta exactitud. El análisis se realizó sin carga en la celda, con carga mínima y carga máxima. El tiempo de fluencia fue considerado de acuerdo a la recomendación R 60 de la OIML.

Se utilizó una cámara ambiental de temperatura con una estabilidad de 0,01 °C, las pruebas fueron evaluadas en un intervalo de temperatura de 10 °C a 30 °C.

2. MODELOS ARMAX.

Debido a la complejidad del sistema, en este trabajo se utiliza un modelo probabilístico, considerando el enfoque de caja negra; es decir, no se considera un modelo causa-efecto sino una relación matemática basada en pruebas experimentales. En este caso utilizaremos los denominados modelos ARMAX.

Los modelos ARMAX son una clase genérica de modelos matemáticos que relacionan tres variables: la respuesta del sistema y ; la excitación del sistema u ; y la perturbación ξ .

La forma general es:

$$A(z)y_n = B(z)u_n + C(z)\xi_n \quad (1)$$

donde:

z representa un desplazamiento en el tiempo.

$$z\{y_n\} = \{y_{n+1}\}$$

$A(z)$, $B(z)$, $C(z)$ son polinomios en la variable z de grados n_A , n_B y n_C respectivamente. $A(z)$ y $C(z)$ mónicos con $n_A \geq n_B$ y $n_A \geq n_C$

$$\begin{aligned} A(z) &= z^{n_A} + a_1 z^{n_A-1} + \dots + a_{n_A-1} z + a_{n_A} \\ B(z) &= b_0 z^{n_B} + b_1 z^{n_B-1} + \dots + b_{n_B-1} z + b_{n_B} \\ C(z) &= z^{n_C} + c_1 z^{n_C-1} + \dots + c_{n_C-1} z + c_{n_C} \end{aligned}$$

Las características fundamentales de esta clase de modelos son la linealidad y densidad, esto significa que son fáciles de manipular y son capaces de aproximar cualquier sistema con la exactitud deseada, de manera local.

Esta es una familia de modelos paramétricos caracterizados en términos de los coeficientes de los polinomios $A(z)$, $B(z)$ y $C(z)$ y sus grados, para determinar los coeficientes se usa el método de mínimos cuadrados generalizados con el modelo:

$$y_n = \theta^T \varphi_n + \xi_n$$

donde:

$$\begin{aligned} \theta^T &= (a_1, \dots, a_{n_A}, b_0, \dots, b_{n_B}, c_1, \dots, c_{n_C}) \\ \varphi_n &= (y_{n-1}, \dots, y_{n-n_A}, u_n, \dots, u_{n-n_B}, e_n, \dots, e_{n-n_C}) \end{aligned}$$

Algoritmo mínimos cuadrados generalizados:

$$\begin{aligned} e_n &= y_n - \theta_n^T \varphi_n \\ \theta_n &= \theta_{n-1} + P_n \varphi_n e_n / (1 + \varphi_n^T P_n \varphi_n) \\ P_n &= P_{n-1} - P_n \varphi_n \varphi_n^T P_{n-1} / (1 + \varphi_n^T P_n \varphi_n) \end{aligned} \quad (2)$$

Con:

$$P_0 = 1000 \text{ I y } \theta_0 = 0, n \geq 1.$$

3. RESULTADOS

3.1 Respuesta de una celda de carga de alta exactitud a variaciones de temperatura.

Se desarrolló un experimento con un tipo de celda de carga de alta exactitud en una cámara ambiental, en donde se expuso la celda a diferentes variaciones de temperatura. La gráfica 1 muestra los resultados del experimento.

3.2 Respuesta de una celda de carga de alta exactitud a temperatura constante.

Para asegurar que la magnitud de influencia más significativa es la temperatura, se llevó a cabo otro experimento, en donde la temperatura de la cámara ambiental se mantuvo constante con una estabilidad de 0,01 °C.

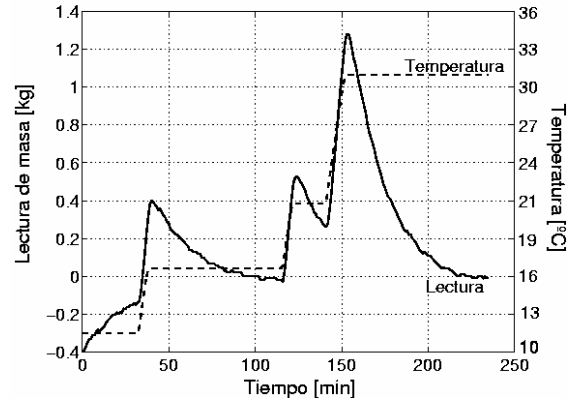


Fig 1. Respuesta de la celda de carga a variaciones de temperatura.

La figura 2 muestra la respuesta de la celda de carga a temperatura constante. Se observa que al asegurar la estabilidad térmica de la celda de carga, se alcanza la resolución especificada por el fabricante.

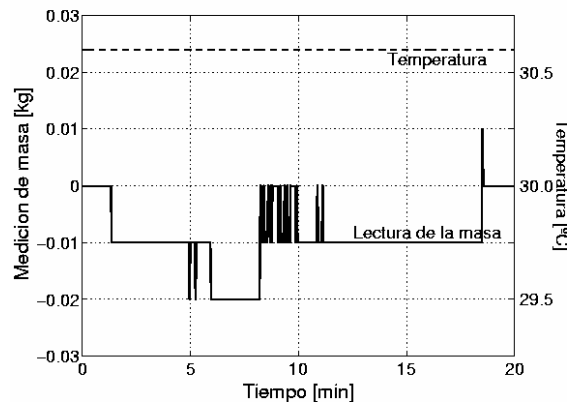


Fig 2. Respuesta de la celda de carga a temperatura constante.

3.3 Caracterización de la celda de carga.

De los resultados previos se ve la necesidad de determinar la influencia de la temperatura sobre la celda de carga. Para analizar esta influencia se excitó con una serie de escalones, considerando que las señales escalones poseen las características necesarias para determinar la dinámica de un sistema. En la gráfica 3 se presentan los resultados, considerando carga mínima el tiempo de fluencia de acuerdo OIML-R60.

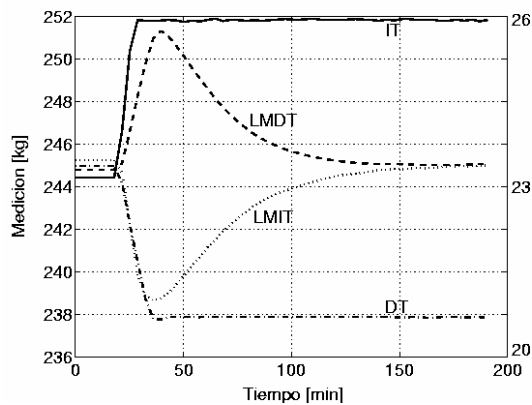


Fig. 3. Respuesta de la celda de carga a excitaciones de tipo escalón de temperatura. LMIT, es la lectura de la masa con un incremento de temperatura; LMDT, es la lectura de la masa con un decremento de temperatura; IT, es el incremento de temperatura; DT, es el decremento de temperatura.

Los resultados muestran la respuesta de la celda de carga LMDT y LMIT con una carga de 244,81 kg y un decremento de temperatura de 5,17 °C y una carga de 244,26 kg a un incremento de temperatura de 5,27 °C, respectivamente. Las variaciones máximas que se observaron fueron 6,5 kg para LMDT y 6,60 kg para LMIT. Obteniéndose un factor de correlación de 0,99 y -0,94 respectivamente.

El tiempo que requirió la celda de carga para estabilizarse térmicamente fue de 120 min a partir del incremento o decremento de la temperatura.

3.4 Identificación del modelo.

Para modelar el efecto de la temperatura sobre las lecturas de la celda de carga se utiliza un modelo ARMAX, ver ecuación (1). El modelado se hace en dos partes, la primera consisten en hacer una estimación de varios modelos con diferentes ordenes, se evalúa cada uno de los resultados

considerando la suma de errores al cuadrado como índice de desempeño principal y se selecciona el modelo que significativamente tenga el error más pequeño y el orden más bajo, en este caso los grados de los polinomios son:

$$n_A=1, n_B=3, y n_C=0;$$

3.4.1 Estimación de parámetros

La estimación del modelo se realizó utilizando el algoritmo de la ecuación (2), y considerando únicamente los primeros 120 datos. La figura 4 muestra la evolución del estimador de los coeficientes.

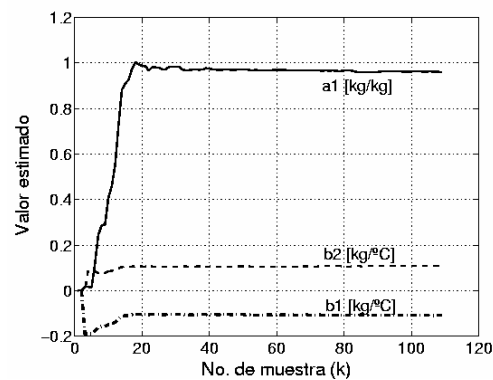


Fig. 4. Estimación de parámetros.

El modelo resultante es:

$$y_n = 0.97y_{n-1} - 0.1(x_{n-1} - x_{n-2}) + \xi_n;$$

En este modelo ξ_n se estima a partir del término de error. Las figuras siguientes muestran las propiedades estadísticas de e_n

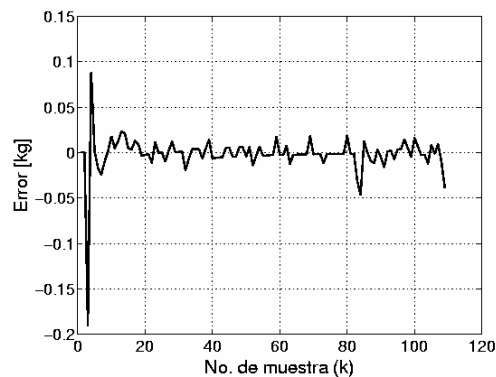


Fig. 5. Error residual del modelo

Como se observa en la figura 5, la media del error es cero, salvo al inicio de la identificación, esto se debe fundamentalmente a las condiciones iniciales del estimador.

La figura 6 muestra un comportamiento normal del error, con una desviación estándar de 0,011 6 lo que sugiere que la influencia de las otras magnitudes es despreciable frente a la temperatura.

Además la función de correlación que se muestra en la figura 7 muestra que la estimación de las perturbaciones es adecuada.

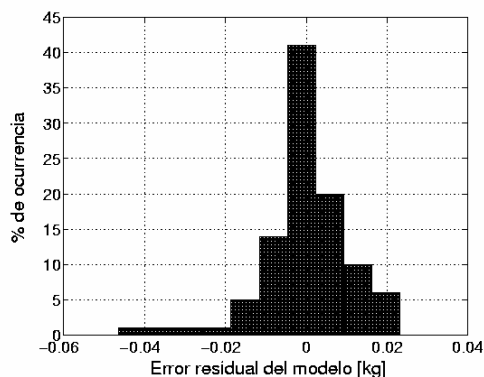


Fig. 6. Estimación de la densidad del error

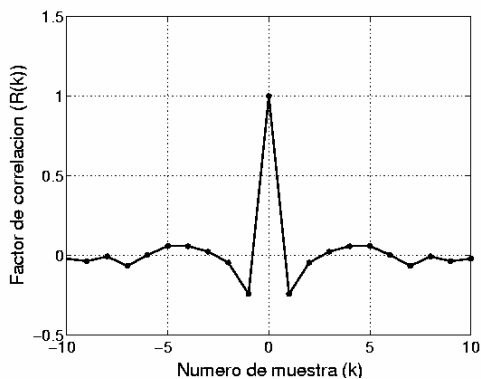


Fig. 7. Función de auto-correlación de error.

3.4.2 Validación del modelo.

Para validar el modelo se utilizan los últimos datos de la prueba utilizada en la identificación, en la siguiente gráfica se muestra el resultado de la estimación versus la lectura

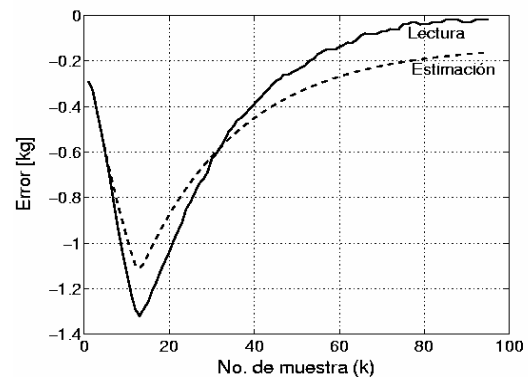


Fig. 8. Lectura de la celda de carga vs. modelo.

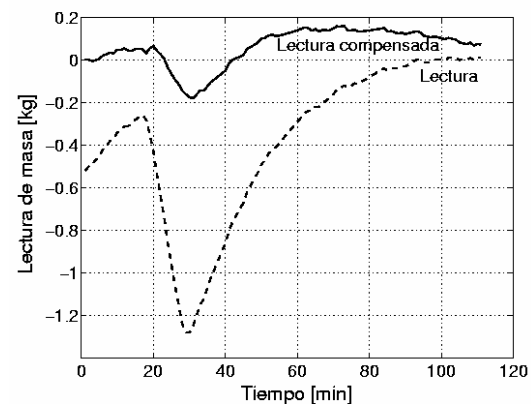


Fig. 9. Lectura de la celda de carga vs. Lectura compensada de la celda de carga.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El experimento realizado muestra una dependencia casi lineal entre la lectura de la masa y la temperatura, también muestra que otros factores son despreciables mientras no se tenga un estricto control sobre la temperatura.

5. CONCLUSIONES

Las mediciones que se obtienen con una celda de carga dependen directamente de la temperatura. Sin embargo esta dependencia es dinámica. Para asegurar una medición confiable existen dos caminos, el primero es considerar el tiempo de estabilización, que es relativamente largo. El segundo hacer una compensación dinámica que represente la influencia de la temperatura sobre la celda y que permita disminuir el efecto de la temperatura sobre la medición (no sobre la celda).

REFERENCIAS.

- [1] M. Velasco, Roberto Salas, Heinz Luchsinger; Analysis of the Sensitivity to the Environmental Temperature of High Accuracy Load Cells; 4th International Conference Measurement 2003; pp. 267-270; junio de 2003.
- [2] Organization Internationale de Métrologie Légale R 60, Metrological Regulation for Load Cells, Bureau International de Métrologie Légale.
- [3] A. Bray, G. Barbato and R. Levi; Theory and practice of force Measurement; Ed. Academic Press; 1990.
- [4] T. Söderstron, P. Stoica; System Identification; Ed. Prentice Hall; 1989.