

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA CALIBRACIÓN DE REGLAS DE ALTA EXACTITUD

Sergio Padilla O. y Benjamín Valera O.  
Centro de Instrumentos UNAM, Laboratorio de Metrología  
Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México D.F.  
Tel. 56 22 86 02 ext. 120, Fax 56 22 86 24, E-mail: padillas@aleph.cinstrum.unam.mx

**Resumen:** El trabajo describe la implantación de una máquina para la calibración de reglas de alta exactitud que abate los costos operativos del servicio que actualmente presta el Laboratorio de Metrología del CI UNAM. La máquina esta formada por el siguiente equipo: una computadora PC, una tarjeta de interfase para codificadores ópticos, una máquina de un eje y programación de propósito específico. Debido a las características de los componentes y al requerimiento de calibrar escalas hasta de 1 m el sistema en conjunto es capaz de medir en un eje longitudes de hasta de 1,2 m con resolución mínima de 2  $\mu\text{m}$ . La máquina posee un alto grado de automatización para la adquisición y procesamiento de datos y calidad de producto terminado.

## INTRODUCCIÓN

La medición de longitud más simple se realiza a través de la comparación contra objetos rectos con graduaciones en subdivisiones de la unidad básica de longitud, conocidos como reglas o escalas graduadas. No obstante la sencillez del método, la responsabilidad particular de mantener éste tipo de instrumentos bajo inspección periódica o calibración cobra importancia debido a la normalización de este tipo de tareas.

En el Laboratorio de Metrología del Centro de Instrumentos UNAM, se ha desarrollado y construido un prototipo funcional de una máquina para la calibración de reglas y escalas graduadas de alta exactitud. La atención a la calibración de reglas y escalas graduadas forma parte de un grupo de servicios estándar que nos son solicitados constantemente por la industria como parte de sus sistemas de aseguramiento de la calidad.

La relevancia del instrumento presentado aquí radica en el enorme ahorro de tiempo y costo de operación, ya que una vez calibrada la máquina, esta puede realizar mediciones consecutivas en línea de reglas y escalas graduadas durante todo el periodo de vigencia de su calibración (típicamente 1 año). El sistema ofrece la ventaja de eliminar el sistema de medición láser usado anteriormente.

## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En nuestro concepto, la calibración de reglas y escalas graduadas consiste de un proceso fino de observación y comparación entre la regla o escala a medir y la máquina descrita aquí. Para este

propósito, la máquina constituye un patrón dimensional de mayor exactitud con respecto al objeto a medir.

El sistema para la calibración de reglas y escalas graduadas se muestra en la figura 1. La figura ejemplifica el siguiente proceso. Una computadora captura las lecturas longitudinales provenientes de un codificador óptico de posición solidario a la bancada de la máquina. Los errores de la escala graduada se obtienen por medio de la diferencia de la longitud de la escala graduada contra la lectura registrada en el codificador. Inicialmente, el codificador es calibrado con un sistema de mayor exactitud y resolución (sistema de interferometría láser). El programa para PC específico procesa longitudes nominales contra longitudes medidas y controla el sistema electrónico para el posicionamiento automático de la lectura actual. Un microscopio de aumento proporciona las imágenes auxiliares para el operador en el posicionamiento del cursor sobre el intervalo deseado.

Al realizar el procedimiento de calibración, son dos los movimientos de posicionamiento automático requeridos: uno de ellos es un movimiento burdo, que permita una aproximación a la lectura objetivo o punto de comparación de la regla o escala graduada. Este movimiento es proporcionado por un motor de corriente directa; el control es un control de velocidad bidireccional, permitiendo así que los carros se puedan desplazar sobre la guía en ambas direcciones de la bancada. El otro movimiento que se requiere es un movimiento fino, proporcionado por un motor de pasos. Este control es de posición y de dirección, el cual permite colocar el cursor del codificador en el punto exacto al cual se desea

hacer la comparación. El microscopio de aumento es utilizado para realizar la inspección visual de la posición que deseamos comparar sobre el objeto a medir. Las lecturas de diferencias entre el valor observado en la regla y la lectura patrón del codificador óptico, se almacenan como archivos de calibración para tener una historia electrónica del instrumento bajo inspección.

Los componentes del sistema mecánico son:

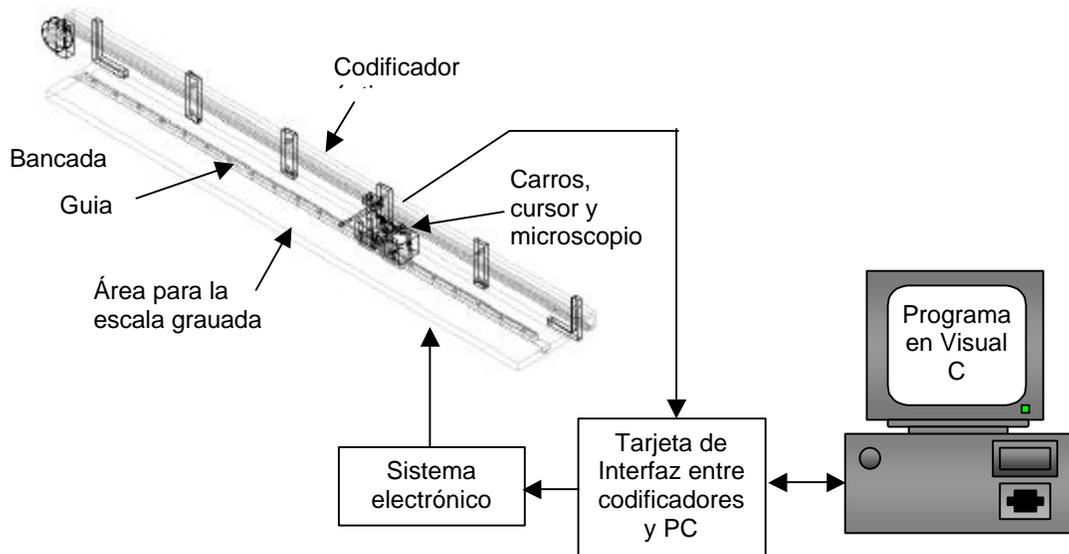
- Una bancada rectificada con una superficie libre de 0,14 X 1,20 m.
- Una guía y dos carros.

Los componentes del sistema electrónico son:

- Un codificador óptico con resolución de 2  $\mu$ m.
- Una tarjeta de interfaz entre codificadores ópticos y PC, PC7266.
- Un control de motores.

Los componentes adicionales son:

- Un microscopio 10X.
- Computadora compatible IBM Pentium con puerto ISA disponible.
- Programa específico para PC.



**Fig. 1** Máquina para la calibración de reglas.

## Sistema mecánico

El sistema mecánico cuenta con un alineamiento recto entre dos carros y la guía (por la cual se deslizan), para que las lecturas de desplazamiento incluyan únicamente la componente longitudinal Y, figura 2.

La base de la máquina esta constituida por una bancada rectificada. Por uno de sus lados, se sostiene la base para el codificador óptico. Dos carros se unen a la guía del codificador por ese mismo lado. Por el otro lado de la bancada se

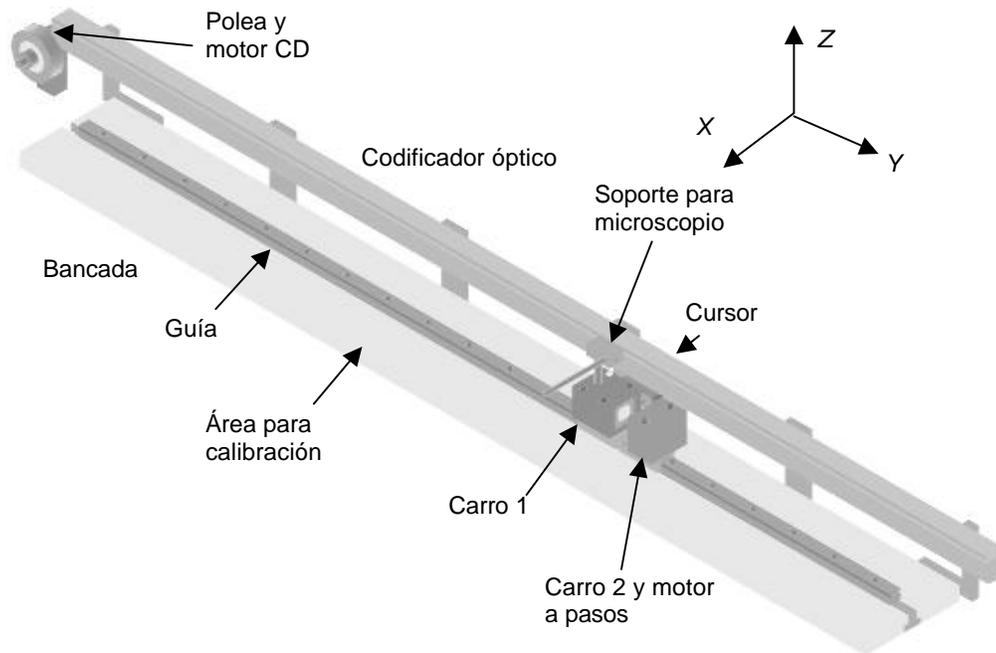
dispone de un área para colocar la regla o escala graduada, es decir, el área libre para la calibración.

Al centro de la bancada se encuentra la guía, por la cual se van a deslizar dos carros; uno de los carros (carro 1) esta unido al cursor del codificador y el otro (carro 2) se encuentra acoplado al primero mediante un tornillo micrométrico. A su vez, en el carro 1 se encuentra un soporte para un pequeño microscopio (o cámara) mediante el cual se hará la inspección ocular para posicionar la medición actual.

El desplazamiento relativo entre los carros, mediante un tornillo micrométrico, permite el nivel de desplazamiento fino. Cuando el carro 2 este fijo con respecto a la bancada, el movimiento fino se obtendrá al girar un tornillo micrométrico que desplaza el carro 1.

El frenado del carro 2 se puede obtener energizando el sistema de posicionamiento burdo, como se verá más adelante.

El mecanismo que proporciona posicionamiento burdo y le da movimiento a los carros, consiste de una polea y una cinta metálica solidaria al carro 2. El movimiento es proporcionado por un motor de CD. Por lo tanto, el frenado del motor de CD permite el posicionamiento fino descrito anteriormente.



**Fig. 2** Sistema mecánico.

La construcción y el diseño mecánico han sido depurados, principalmente cuidando el buen alineamiento entre las piezas, ya que las imperfecciones mecánicas constituyen la principal fuente de error de este tipo de instrumentos.

Adicionalmente, el diseño contempla accesorios mecánicos para la calibración periódica de la máquina mediante un sistema de mayor resolución (sistema de medición láser). Típicamente, tales calibraciones periódicas, se realizan una vez por año. No obstante, el instrumento, una vez calibrado, puede desarrollar calibraciones de escalas graduadas durante el periodo de vigencia de su calibración.

### Sistema electrónico

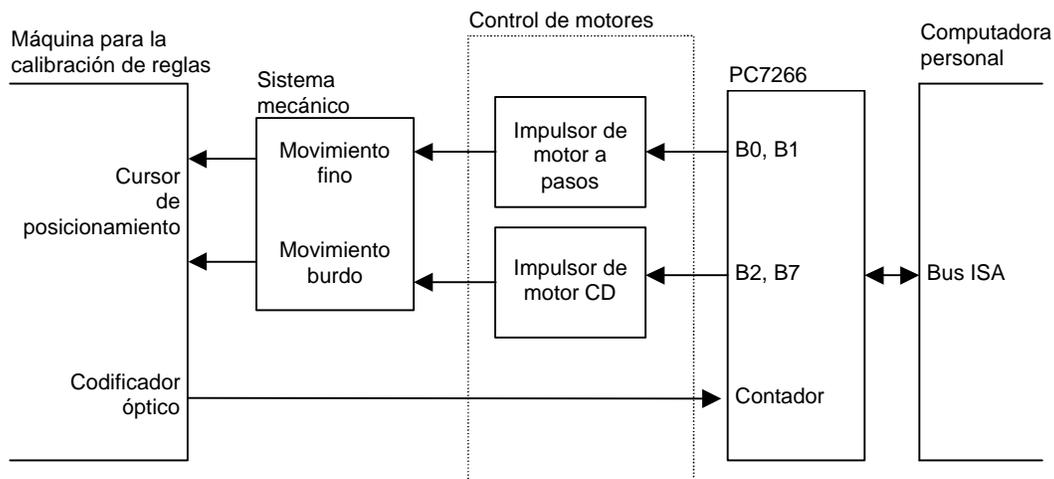
La figura 3 muestra el diagrama a bloques del sistema electrónico empleado para el posicionamiento y el registro de lecturas en la máquina de calibración de reglas. El sistema es esencialmente un control de posición en donde se impulsa el movimiento del cursor de posicionamiento mediante motores eléctricos y se registra el desplazamiento alcanzado mediante el codificador óptico. El operador cierra el lazo de control a través de la interacción con la interfase de usuario.

La siguiente es una breve descripción de los bloques mostrados en la figura 3.

- La velocidad del motor CD es controlada mediante la variación en el ancho del pulso que recibe. Las señales B2 a B7 impulsan un convertidor D/A que genera del 0% al 100% del ancho del pulso. El impulsor del motor CD acopla la señal al motor proporcionándole ganancia.
- El motor a pasos funciona cuando por sus bobinas circula una corriente, esa corriente debe seguir una secuencia determinada. Esta secuencia permite el control del sentido y de la velocidad del motor. El impulsor del motor a pasos es gobernado por la secuencia binaria B0, B1.
- Tanto el impulsor para el motor de CD como el impulsor utilizado en el motor a pasos, suministran la corriente necesaria que los motores demandan. Los motores en conjunto

controlan el cursor de posicionamiento en dos niveles de resolución, fino y burdo.

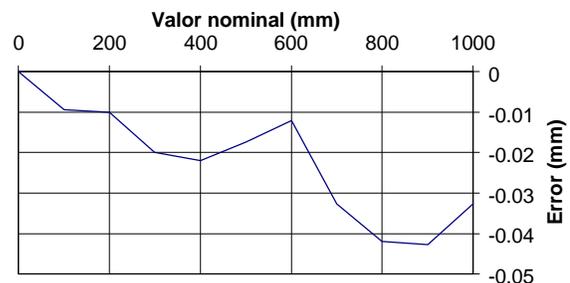
- La tarjeta PC7266 genera las señales de control B0 a B7 que a su vez son gobernadas por la interfase de usuario en la PC. Además, la PC7266 acepta los niveles lógicos TTL provenientes del codificador óptico. Entonces el movimiento en el cursor de posicionamiento es registrado por la interfase de usuario [1].
- La tarjeta PC7266 es insertada en una cavidad ISA de la computadora huésped.
- La interfase de usuario proporciona los medios para que el operador manipule el posicionamiento del sistema mecánico y observe el desplazamiento alcanzado.



**Fig. 3** Sistema electrónico.

## RESULTADOS

Se realizó un experimento de calibración al comparar las mediciones reportadas por la máquina contra un sistema de medición láser de mayor exactitud. La figura 4 muestra la curva de calibración, a través de la cual son corregidas las lecturas del sistema.



**Fig. 4** Curva de calibración.

Del ejercicio de calibración podemos resumir el desempeño de la máquina mediante las siguientes especificaciones basadas en nuestros procedimientos internos.

- Estimación preliminar de la incertidumbre de medición:  $\pm (1,0 + 10L) \mu\text{m}$ , donde L en m, es la longitud del objeto a medir.
- División mínima: 2  $\mu\text{m}$ .
- Alcance de medición: 1,2 m.
- Error máximo: 43  $\mu\text{m}$  (sin corrección)

La figura 5 muestra la implementación final, hardware y software. La figura 6 muestra la interfase de calibración.

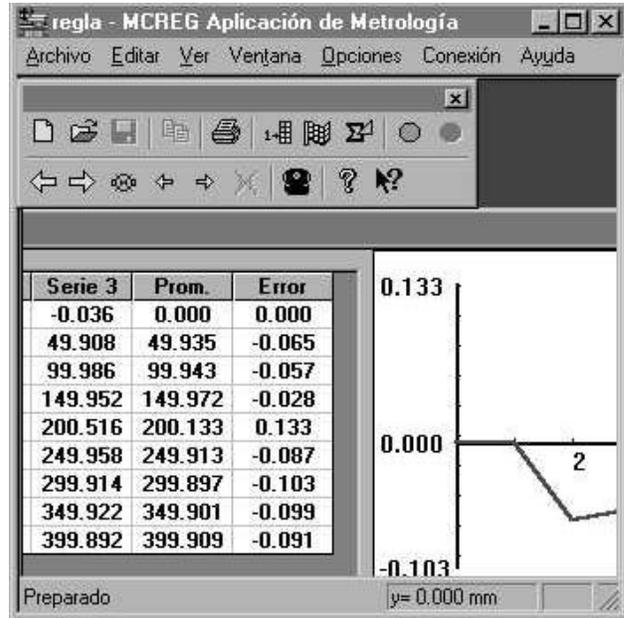


**Fig. 5** Máquina para la calibración de reglas.

## DISCUSIÓN

Nuestra infraestructura actual nos permite calibrar la máquina mediante un sistema de medición láser con menor división mínima, mayor exactitud y trazabilidad. Dicha tarea se realiza periódicamente y reporta los errores propios del sistema. Con tales resultados, podemos realimentar el software de forma que los errores del sistema sean descontados para obtener mediciones de mayor confiabilidad.

Los siguientes son factores que contribuyen a la incertidumbre de medición:



**Fig. 6** Interfase de calibración.

- Variaciones ambientales, principalmente cambios de temperatura;  $u(T) = 6,63 \text{ L en } \mu\text{m}$ .
- Apreciaciones visuales al realizar mediciones por observación sin contacto, debidas principalmente a defectos en las marcas de graduación de las escalas sometidas a calibración;  $u(dm) = 1,1 \text{ en } \mu\text{m}$ .
- Error coseno producido por desalineamiento;  $u(c_{\text{cos}}) = 6,1 \text{ L en } \mu\text{m}$ .
- Error de Abbe, debido a las características de los instrumentos involucrados en la medición;  $u(a) = 1,0 \text{ en } \mu\text{m}$ .

De tales factores, el sistema permite la compensación de los errores coseno y de Abbe (al calibrar la máquina e introducir la compensación en el código fuente), en tanto que las variaciones de la temperatura ambiente con respecto de la temperatura de 20 °C, es corregida en otra etapa del proceso.

## CONCLUSIONES

A continuación se presentan los puntos que se lograron satisfacer con este proyecto.

- Se ha logrado simplificar el procedimiento de calibración de escalas graduadas de hasta 1,2 m de longitud con división mínima de 2  $\mu\text{m}$ , con respecto al procedimiento anteriormente utilizado en el laboratorio.
- Actualmente se satisface la exactitud requerida para la calibración de escalas graduadas en concordancia con JIS B7516 y OIML No. 35 [2, 3].
- La incertidumbre estimada en concordancia con la GUM [4], actualmente es de:  $\pm (1,0 + 10 L)$   $\mu\text{m}$ , para L en m y considerando un factor de cobertura  $k=2$ , correspondiente a un nivel de confianza de 95% aproximadamente.
- Se desarrolló software de propósito específico en ambiente Windows que facilita la operación del equipo y proporciona calidad de producto terminado a la máquina.

El sistema ofrece enormes ahorros de tiempo y esfuerzo, ya que una vez calibrado puede realizar calibraciones de escalas con un alto grado de confiabilidad, ofreciendo además, la ventaja de eliminar el sistema de interferometría láser, como patrón de referencia para la calibración de escalas graduadas y en cambio, utilizarlo como patrón de referencia para la calibración del sistema.

## REFERENCIAS

- [1] US Digital, *Technical Data*, Rev. 09.29.97, Septiembre 1997.
- [2] Organization Internationale de Métrologie Légale, *International Recommendation No. 35*, Material measures of length for general use, Paris, France, 1985.
- [3] Japanese Industrial Standard, *Metal Rules*, JIS B 7516-1987.
- [4] BIPM et al, *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, 1993.