

# MÉTODO DE TRASLAPE APLICADO A LA CALIBRACIÓN DE PATRONES UNIDIMENSIONALES Y A LA EVALUACIÓN DE MÁQUINAS DE MEDICIÓN POR COORDENADAS.

Edgar Arizmendi, Octavio Icasio  
Centro Nacional de Metrología

km 4,5 Carretera a los Cués, Mpio. El Marques, C.P. 76241 Querétaro, México.

Tel: 442 2110500, fax: 442 2110577, email: [earizmen@cenam.mx](mailto:earizmen@cenam.mx), [ocasio@cenam.mx](mailto:ocasio@cenam.mx)

Resumen: La evaluación del desempeño de Máquinas de Medición por Coordenadas (MMC's) de grandes dimensiones y la calibración dimensional de patrones unidimensionales (PU's) de grandes longitudes para la evaluación de las mismas, es una necesidad que se esta presentando con mayor frecuencia. Las normas exigen el empleo de patrones materiales, que deban cumplir con el tamaño apropiado y con incertidumbres de calibración razonablemente menores al error máximo permisible. Esto conlleva a la necesidad de contar con patrones de grandes dimensiones, los cuales no son fáciles de conseguir y transportar, por otro lado la calibración de dichos patrones es complicada, pues no existen MMC's de alta exactitud con las dimensiones apropiadas para calibrar dichos patrones de manera directa, razón por la cual el presente trabajo describe un método (traslape de elementos geométricos), que puede ser aplicado tanto para calibración de PU's de grandes longitudes en MMC's de alta exactitud con alcances de medición menores a la longitud del patrón, como también para la evaluación de MMC's de grandes dimensiones con PU's de menores dimensiones a los recomendados por la normatividad.

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo describe un método que puede ser empleado para la calibración de patrones unidimensionales (PU's) de grandes dimensiones (barras de bolas, reglas de pasos, etc.), en máquinas de medición por coordenadas (MMC's) de alta exactitud con alcances de medición menores a la longitud del PU, así como también para la evaluación del desempeño de MMC's de grandes dimensiones con PU's de menores longitudes a las recomendadas en las normas.

Las consideraciones prácticas presentadas para la aplicación del método son fruto de la experiencia adquirida durante los trabajos efectuados y son de gran importancia, sobre todo cuando el artefacto es de dimensiones considerables y se requieren varios traslapes para completar el trabajo.

## 2. CALIBRACIÓN DE PU's DE GRANDES DIMENSIONES UTILIZANDO EL MÉTODO DE TRASLAPE.

Para calibrar o medir un PU de grandes dimensiones (barras de bolas), en una MMC con alcances de medición menores a la longitud del artefacto, se procede a dividir el mensurando en dos o más segmentos (segmento 1, segmento 2, segmento 3, ..., segmento n) de tal modo que cada

segmento pueda ser medido en el intervalo de la MMC.

Para poder unir los resultados de la medición de los segmentos, es necesario que cierto número de elementos geométricos (al menos dos) sean comunes en ambos segmentos, dichos elementos se denominarán intervalo de traslape.

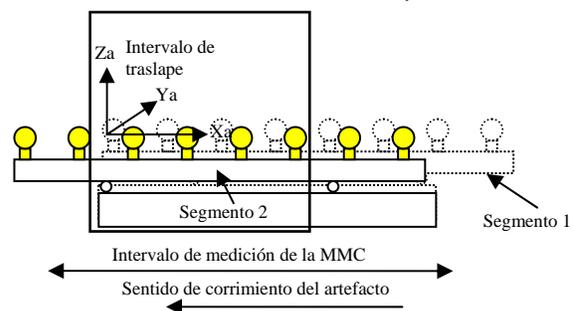


Fig. 1. Errores de traslación en el traslape.

Se establece el sistema de coordenadas del objeto en el primer segmento y se miden los elementos geométricos que forman parte de éste, se traslada el artefacto en la dirección del eje del mismo, dejando algunos elementos en el intervalo de traslape (al menos dos) y se miden los elementos geométricos del segmento con un nuevo sistema de coordenadas del objeto. Para conectar las mediciones del segmento 2 al segmento 1, es decir, al sistema de coordenadas del objeto del segmento

1, es necesario corregir los resultados obtenidos del segmento 2, debido a los 5 errores posibles que se cometen en el traslape: 3 traslaciones (ver figura 1) y dos rotaciones (ver figura 2). Los errores de traslación se corrigen promediando los resultados obtenidos del segmento 1 con respecto al 2, mediante la expresión (1),

$$Gk_c = \frac{\sum_{i=1}^n C_{ci}}{n} \quad (1)$$

$$corrT_c = G1_c - G2_c \quad (2)$$

donde:

corrT<sub>c</sub> = Valores de corrección para cada una de las traslaciones X, Y, Z.

c = Coordenadas X, Y, Z del elemento geométrico en el intervalo de traslape

Gk<sub>c</sub> = Centro de gravedad de cada uno de los segmentos en el intervalo de traslape.

k = segmento 1 ó 2

n = es el número de elementos en el intervalo de traslape

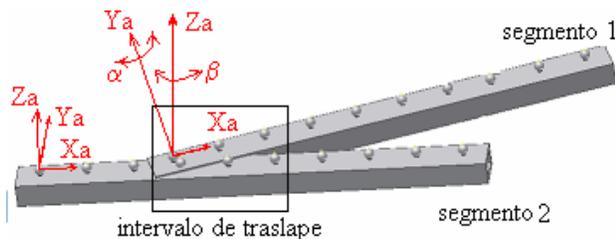


Fig. 2. Errores de rotación en el traslape.

Para corregir los errores de rotación, primeramente se determinan los ángulos α y β (ver figura 2) mediante las siguientes expresiones:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n [(Z_{2i} - Z_{1i})(x_{2i} - G2_x)]}{\sum_{i=1}^n (x_{2i} - G2_x)^2} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n [(Y_{2i} - Y_{1i})(x_{2i} - G2_x)]}{\sum_{i=1}^n (x_{2i} - G2_x)^2} \quad (4)$$

donde:

α = ángulo de rotación alrededor del eje Ya.

Z<sub>2i</sub> = coordenada Z del segmento 2 de cada uno de los elementos que estén en el intervalo de traslape.

Z<sub>1i</sub> = coordenada Z del segmento 1 de cada uno de los elementos que estén en el intervalo de traslape.

x<sub>2i</sub> = coordenada X de cada uno de los elementos que estén el intervalo de traslape del segmento 2.

β = ángulo de rotación alrededor del eje Za.

Y<sub>2i</sub> = coordenada Y del segmento 2 de cada una de los elementos que estén en el intervalo de traslape.

Y<sub>1i</sub> = coordenada Y del segmento 1 de cada uno de los elementos que estén en el intervalo de traslape.

X<sub>2i</sub> = coordenada X de cada uno de los elementos geométricos del segmento 2.

Ahora bien, para corregir las coordenadas Z y Y de todos los elementos geométricos del segmento 2, se asume que las rotaciones son pequeñas y se aplican las expresiones (5) y (6) respectivamente.

$$CorrZ_\alpha = \alpha(X_{2i} - G2_x) \quad (5)$$

$$CorrY_\beta = -\beta(X_{2i} - G2_x) \quad (6)$$

Para conectar resultados de todos los elementos geométricos del segmento 2 al segmento 1, se suman las correcciones encontradas mediante las expresiones (2), (5) y (6) a las coordenadas de la medición del segmento 2, a partir de efectuar lo anterior, las mediciones se consideran como una sola medición sin traslape.

Si el artefacto fue dividido en más de dos segmentos, ahora el segmento 2 corregido, toma el lugar del segmento 1 y el segmento 3 el lugar del segmento 2 y se procede a efectuar nuevamente las mediciones y cálculos.

### 3. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE MMC's UTILIZANDO EL MÉTODO DE TRASLAPE.

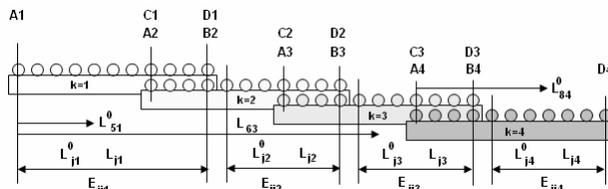
El método del traslape no solo puede ser utilizado para la calibración de elementos cuyas dimensiones no pueden ser abarcadas por una MMC de un tamaño particular; sino que además, este método permite hacer exactamente lo contrario, es decir, evaluar el desempeño de MMC's cuyas dimensiones lineales no sean cubiertas en al menos el 66% como lo indica la norma ISO 10360-2.

El método básicamente se utiliza para convertir a un patrón de medición de longitud determinada en uno de longitud mayor, mediante traslapes de elementos geométricos del mismo.

Para extender el artefacto de medición mediante el método, se requiere que en el intervalo de traslape exista cuando menos un elemento común, sin embargo, entre mas elementos sean considerados en el intervalo de traslape, mejor será la conexión de los mismos, pues el método corresponde a un promedio de las desviaciones encontradas en dicho intervalo.

La figura 3, ejemplifica como se debe realizar el traslape utilizando barra de bolas y permite indicar con claridad la nomenclatura utilizada por las ecuaciones desarrolladas para el traslape de elementos unidimensionales.

Sea  $k$  las posiciones que toma el patrón dentro del volumen de medición de la máquina y “ $C_{k-1}-D_{i-1}$ ” con “ $A_k - B_k$ ” el intervalo de traslape para cada una de las  $k$  posiciones de la línea de medición que se desea extender. ( $k=2, 3, \dots, n$ )



**Fig. 3** Modelo que ejemplifica el traslape de bolas para  $k = 4$ .

$$E_{ijk}^0 = M_{ijk} - N_j \quad (7)$$

$$E_{ij1} = M_{ij1} - N_j = E_{ij1}^0 \quad (8)$$

$$E_{ij2} = M_{ij2} - N_j + \frac{1}{I} \sum_{j=C_1}^{D_1} \sum_{i=1}^I E_{ij1} - \frac{1}{I} \sum_{j=A_2}^{B_2} \sum_{i=1}^I E_{ij2}^0 \quad (9)$$

$$E_{ij3} = M_{ij3} - N_j + \frac{1}{I} \sum_{j=C_2}^{D_2} \sum_{i=1}^I E_{ij2} - \frac{1}{I} \sum_{j=A_3}^{B_3} \sum_{i=1}^I E_{ij3}^0 \quad (10)$$

$$E_{ijk} = M_{ijk} - N_j + \frac{1}{I} \sum_{j=C_{k-1}}^{D_{k-1}} \sum_{i=1}^I E_{ijk-1} - \frac{1}{I} \sum_{j=A_k}^{B_k} \sum_{i=1}^I E_{ijk}^0 \quad (11)$$

donde:

$A_k$ : primer elemento medido en la posición  $k$  (elemento de referencia de esta posición)

$B_k$ : ultimo elemento que forma parte del traslape en la posición  $k$ ,

$C_k$ : primer elemento con que comienza el traslape en la posición  $k$ ,

$D_k$ : último elemento medido en la posición  $k$ ,

$L_{jk}^0$ : es la distancia nominal que existe entre un elemento  $j$  en la posición  $k$ , al primer elemento en la misma posición,

$L_{jk}$ : es la distancia nominal que existe de un elemento  $j$  en la posición  $k$  al primer elemento de la primera posición,

$I$ : número total de mediciones por posición

$k$ : número de posiciones

$i$ : número actual de repeticiones

$j$ : número actual de elemento en una posición

$M_{ijk}$ : longitud medida en la posición  $k$ , midiendo al elemento  $j$  en la repetición  $i$ , cubriendo el primer elemento en esta posición

$N_j$ : longitud calibrada, distancia del elemento  $j$  al elemento 1,

$E_{ijk}^0$ : desviaciones de longitud medidas en la posición  $k$ , midiendo al elemento  $j$  en la repetición  $i$ , cubriendo al primer elemento en esta posición

$E_{ijk}$ : desviaciones de longitud medidas en la posición  $k$ , midiendo al elemento  $j$  en la repetición  $i$ , sin cubrir la posición del primer elemento.

La ecuación (11) expresa el modelo general para evaluar una MMC utilizando el traslape.

## 4. RESULTADOS OBTENIDOS

### 4.1 Resultados de utilizar el método del traslape en la calibración de PU's de dimensiones superiores al alcance de medición de la MMC.

En la figura 4 se comparan los resultados de calibración, de una barra de bolas de 1500 mm contra los resultados obtenidos por el método de traslape del mismo mensurando, en una MMC de alta exactitud con alcance de medición de 1200 mm.

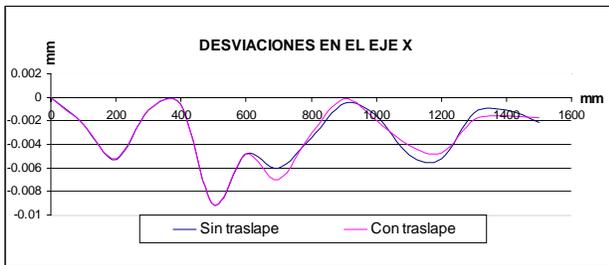


Fig. 4 Desviaciones en la coordenada "X" en la calibración de una barra de bolas de 1500 mm

El traslape se efectuó a partir de 600 mm con tres bolas, lo cual es de notar en la gráfica, pues en donde comienzan a verse las diferencias, sin embargo, los resultados son congruentes dentro de 0,001 mm.

**4.2 Resultados de utilizar el método del traslape en la evaluación del desempeño de MMC's**

A continuación se grafican los resultados encontrados al evaluar el desempeño de una MMC, los cuales muestran las desviaciones encontradas en dos líneas paralelas a sus ejes de medición.

Para una línea se utilizó una barra de bolas que la abarcara completamente y luego se "trozo" esta, para simular el traslape y ver la respuesta de lo realizado; para la otra línea se utilizó una regla de pasos, y se realizó lo mismo que con la barra de bolas, es decir el patrón cubría en su totalidad a la línea y después éste fue "trozado" para simular el traslape, para ambas líneas solo un traslape fue simulado, es decir, el valor de k fue de 2.

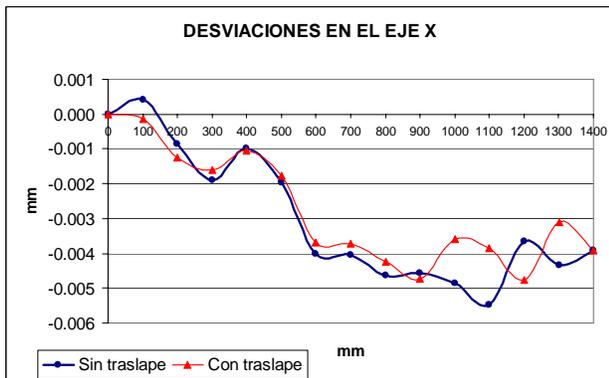


Fig. 5 Desviaciones encontradas con barra de bolas como patrón.

De la figura 5 se puede observar claramente como el traslape comenzó a partir de la distancia de 900

mm pues de ahí en adelante, se presentan diferencias considerables respecto a las desviaciones sin traslape. Estas diferencias tienen que ver principalmente con la conexión en el intervalo de traslape y la repetibilidad del palpador, sin descartar otras fuentes como la propia MMC, condiciones ambientales, etc.

La figura 6 muestra las desviaciones en la otra línea, pero ahora utilizando una regla de pasos.

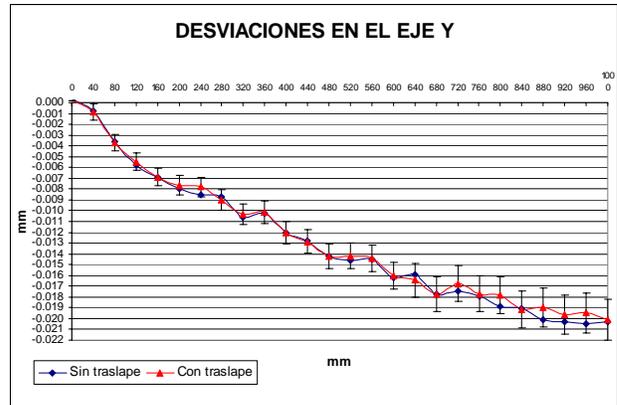


Fig. 6 Desviaciones encontradas con regla de pasos como patrón.

En esta gráfica las diferencias comienzan después de los 600 mm, pues es ahí donde comienza el traslape, además se grafica la incertidumbre de las desviaciones con traslape y se puede ver como después de 600 mm las barras crecen aun mas, esto debido principalmente al efecto de la conexión en el traslape; lo que da pie a un factor a considerar a la hora de realizar el análisis de incertidumbre en la evaluación del desempeño, utilizando traslape.

**5. DISCUSIÓN**

Para la evaluación del desempeño de MMC, las diferencias de utilizar o no el método del traslape no son considerables, tomando en cuenta que la MMC utilizada, tiene con un sistema de palpado cuya repetibilidad oscila alrededor de 1 µm, y si a esto le aunamos las buenas condiciones tanto de la MMC como ambientales, puede verse que el método de traslape es eficiente tanto para calibrar PU's como para evaluar MMCs de grandes dimensiones. Solo basta considerar como realizar el traslape lo mejor posible dentro de la línea contenida en el volumen de medición de la MMC, pues en líneas paralelas a los ejes, que es en lo que se basó el experimento no hay ninguna dificultad, sin embargo en líneas

situadas dentro del volumen podría existir mas incertidumbre por la conexión entre elementos y sobre todo por el montaje a utilizar para realizar el traslape.

En lo que respecta a la fijación de los PU's de grandes dimensiones, es indispensable que éstos sean apoyados en los mismos puntos durante todos los traslapes (de preferencia los puntos Bessel), de lo contrario se incurrirán en errores debido a la deformación elástica del mensurando. Para MMC's de mesa móvil o apoyadas en suspensión neumática, será necesario apoyar el artefacto en una viga lo suficientemente rígida para evitar oscilaciones en los traslapes críticos y conservar siempre el mismo apoyo. Para MMC's montadas sobre fundaciones rígidas en donde se asegure que la fundación y la máquina tengan comportamiento de cuerpo rígido podrá omitirse el uso de la viga.

En la medida en que el número de elementos geométricos en el intervalo de traslape sea mayor, la conexión de los traslapes será realizada de mejor manera, pero también el tiempo de evaluación y calibración crecerán considerablemente.

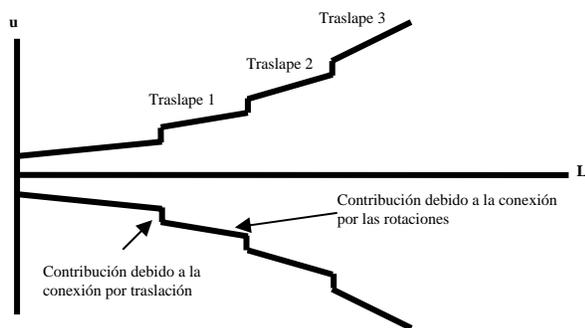


Fig. 7 Incertidumbre de medición debido al traslape de elementos geométricos.

De la figura 6 puede verse que la incertidumbre de medición tanto para evaluación de MMC's como para calibración de artefactos tiene incrementos cada vez que se hace un nuevo traslape, por ejemplo, cada vez que se hace un traslape, se tendrá una contribución a la incertidumbre debido la conexión por traslación (incremento vertical) y un

incremento en la pendiente de la curva debido a la conexión por las rotaciones, ver figura 7. Si más elementos son empleados en el intervalo de traslape, las contribuciones a la incertidumbre debido a la conexión disminuyen, pero siempre habrá un pequeño salto vertical y un incremento en la pendiente en cada traslape.

## 6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que el método de traslape puede ser usado para la calibración de PU's de grandes dimensiones y para la evaluación del desempeño de MMC's, sin embargo, vale la pena comentar que en la norma ISO 10360-2 el método todavía no esta recomendado. Otro factor importante de analizar es que aun y cuando el número de traslapes al realizar una medición teóricamente no tiene límites, la incertidumbre del método de medición va creciendo con cada uno de éstos, por lo que será necesario llegar a un consenso entre el número de traslapes a efectuar y la incertidumbre de medición requerida para el ensayo.

## REFERENCIAS

- [1] Trapet E., Bartscher M., Franke M., Balsamo A., Costelli G., Torre S., Kitzsteiner F., San Martín F., Methods and Artifacts to Calibrate Large CMM's, Proceedings of the 1<sup>st</sup> international EUSPEN conference, Bremen, ISBN 3-8265-6085-X, Vol. 2, S. 391-394, 1999
- [2] Bartscher M., Busch K., Schwenke H., Trapet E., Wäldele F., Artefact based traceability concept for large co-ordinate measuring machines (CMM's), Proceedings of the 9<sup>th</sup> METROLOGIE conference, Bordeaux (Frankreich), ISBN 2-909430-88X, S. 158-161, 1999