

# Análisis de la estabilización térmica inicial de los Laser Trackers

Pablo Pérez Muñoz, José Antonio Albajez García, Jorge Santolaria Mazo

Afiliación: Grupo de Ingeniería de Fabricación y Metrología Avanzada (GIFMA).  
Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)  
Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.  
Tel. +34-976762707, e-mail: [pperezmu@unizar.es](mailto:pperezmu@unizar.es)

## Abstract

En el proceso de medición con un Laser Tracker, antes de iniciar la toma de datos, es necesario que se estabilice la fuente láser, este proceso lleva unos 20 minutos. Sin embargo, el proceso de estabilización térmica de la estructura es mucho más lento. En el trabajo que aquí se presenta, se ha estudiado dicho proceso que tiene lugar durante las primeras horas y su importancia metrológica.

## Introducción

Durante los últimos años, los Laser Trackers están siendo cada vez más utilizados como herramienta de medición en sectores que trabajan con componentes a gran escala, como el aeroespacial, energía eólica, automoción, etc. [1]. Los Laser Trackers básicamente consisten en un interferómetro láser con dos encoders de alta resolución angular que junto con un sensor de detección de posición (PSD), le proporcionan la capacidad de rastreo del objetivo, un retro-reflector. Como resultado, estos equipos miden la posición del objetivo en un sistema de coordenadas esféricas ( $\rho$ ,  $\theta$ ,  $\varphi$ ). Esto hace de los Laser Trackers una útil herramienta de medición en metrología debido a su precisión, su amplio rango de medición, su alta frecuencia de muestreo y su capacidad de seguimiento automático del objetivo.

ASME B89.4.19-2005 [2] es el Estándar Nacional Americano centrado en el uso de Laser Trackers como herramientas industriales de medición. Describe metodología para la evaluación del funcionamiento de sistemas de medición por coordenadas basados en láser. Los procedimientos requieren que el Laser Tracker trabaje dentro de unas condiciones ambientales de temperatura mínima, temperatura máxima y gradientes de temperatura (gradientes espaciales en  $^{\circ}\text{C}/\text{m}$  y gradientes temporales en  $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ). Estos métodos y procedimientos no tienen en cuenta otros tipos de errores relacionados con la temperatura como la deformación térmica del equipo, sin embargo, dichas fuentes de error no son despreciables y tienen influencia en los resultados del proceso de medición, por lo que se han analizado y estudiado.

## Metodología y Resultados

Desde que se enciende, el Laser Tracker no está listo para medir hasta que pasa un periodo de aproximadamente 20 minutos cuando la fuente del láser se estabiliza. Sin embargo, el Laser Tracker no se estabiliza térmicamente hasta pasadas varias horas, dependiendo del equipo y su configuración.

Para determinar el tiempo de calentamiento real de dos modelos diferentes de Laser Trackers (LT1 y LT2) se han tomado datos con una frecuencia de 2 datos por minuto de la distancia radial, cuando el retro-reflector se halla en una posición fija, el nido. La Figura 1 muestra la variación temporal de la coordenada radial de un punto fijo para cada Laser Tracker. Se observa que LT1 se estabiliza a los 90 minutos tras sufrir una variación de  $19\ \mu\text{m}$ , mientras que LT2 lo hace a los 270 minutos tras variar  $75\ \mu\text{m}$ . Estas variaciones de la componente radial que suceden durante las primeras horas desde el momento en que se enciende la fuente del láser son debidas a un incremento de la temperatura interna del Laser Tracker, lo que puede provocar dilatación térmica de algunos componentes como lentes, partes mecánicas o el divisor de haz. Este error es sistemático y repetible, por lo que se puede corregir. Una forma de corregirlo consiste en esperar el tiempo completo de calentamiento y resetear el interferómetro. Otra forma de corregirlo es modelar la curva de calentamiento y compensarla a la medición.

Por otra parte, el incremento de temperatura interna del Laser Tracker también provoca la dilatación térmica de la estructura, lo que puede provocar un desplazamiento del origen de coordenadas, dependiendo de donde este situada la fuente del láser, que es la mayor fuente de calor. En el caso de LT1, cuya fuente de calor se encuentra en la cabeza del Laser Tracker, el origen de coordenadas permanece inalterado. Sin embargo, LT2 al tener la fuente de calor en la estructura, por debajo de la cabeza del Laser Tracker, al expandirse la estructura por dilatación térmica, desplaza la cabeza y consigo el origen de coordenadas hacia arriba en el eje +Z. La Figura 2 muestra la variación de la coordenada z

de la cabeza de LT2 a lo largo del tiempo. Este desplazamiento del origen de coordenadas genera un error en la medición que puede corregirse recalculando las coordenadas teniendo en cuenta ese desplazamiento.

La Figura 3 (a) muestra las variaciones en el tiempo durante la primera hora y media de medición de los valores de distancias radiales de 4 puntos fijos. La Figura 3 (b) muestra dichas variaciones tras corregir el error debido al desplazamiento del origen de coordenadas, mientras que, la Figura 3 (c) muestra los valores de dichas variaciones tras aplicar las dos correcciones: La debida al desplazamiento del origen de coordenadas y la debida al offset interno.

### Conclusiones

Los Laser Trackers son equipos de medición por coordenadas de alta precisión por lo que es importante evitar tantas fuentes de error como sea

posible. Se ha comprobado que el Laser Tracker tarda, dependiendo del equipo, entre 90 y 270 minutos en estabilizarse térmicamente.

Durante el periodo de calentamiento el Laser Tracker sufre deformaciones térmicas tanto internas como de su estructura, lo que genera errores sistemáticos en las coordenadas radiales no despreciables que pueden ser calculados y por lo tanto corregidos.

### REFERENCIAS

[1]. ESTLER, W.T., EDMUNSON, K.L., PEGGS, G.N. and PARKER, D.H. Large-Scale Metrology – An Update. *Annals of CIRP*. 2002, 51(2), 578-609. Available from: doi: 10.1016/S0007-8506(07)61702-8.

[2]. ASME B89.4.19-2005 Performance Evaluation of Laser Based Spherical Coordinate Measurement Systems.

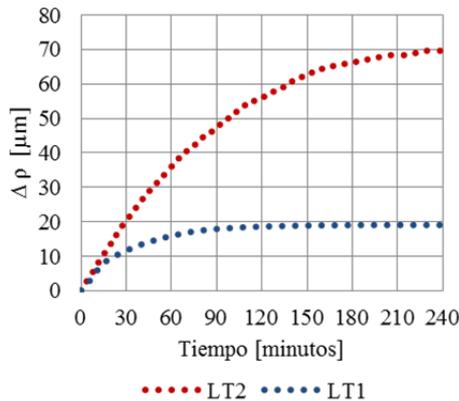


Fig. 1. Variación temporal de  $\rho$  (coordenada radial) para cada Laser Tracker con el retro-reflector situado en el nido (punto fijo de referencia solidario a la estructura del Laser Tracker).

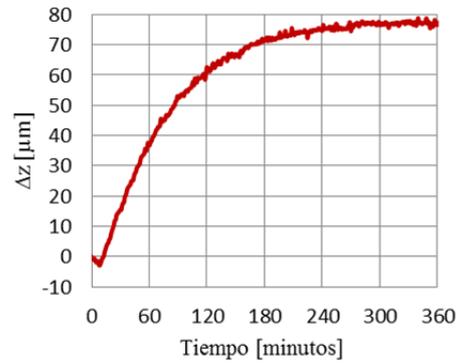


Fig. 2. Desplazamiento que experimenta la cabeza de LT2 en la dirección +Z debido a la expansión térmica que sufre la estructura.

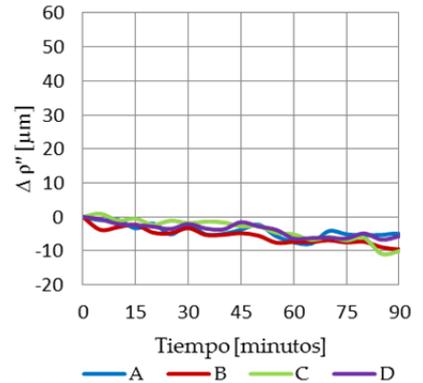
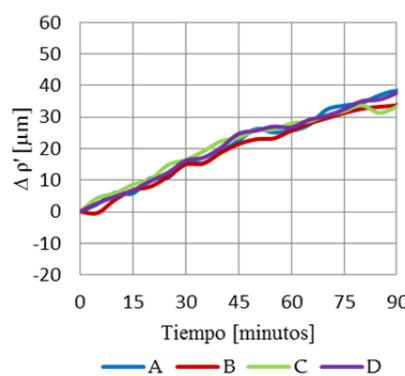
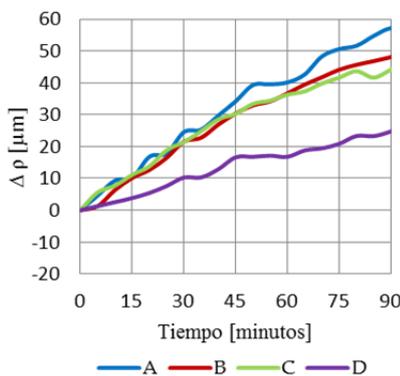


Fig. 3. (a) Valor de la distancia radial de la medición de 4 puntos fijos a distintas distancias y alturas medidos con LT2. (b) Distancias radiales tras corregir el desplazamiento del origen de coordenadas en +Z debido a dilatación térmica. (c) Distancias radiales tras corregir el desplazamiento del origen de coordenadas y el error provocado por el aumento de la temperatura interna.