

## ARTÍCULO

# La ingeniería de precisión, elemento indispensable en el desarrollo de máquina herramienta

- *La mejora de la precisión en máquina herramienta es un objetivo clave para fabricantes y usuarios (desarrollo y utilización de las máquinas y sistemas productivos) para asegurar el cumplimiento de las especificaciones de los productos a fabricar. La medida en máquina y la fabricación cero defectos son algunos de los conceptos que se están desarrollando a nivel de investigación para su posterior aplicación en máquina herramienta y conseguir así una precisión cada vez mayor incluso en piezas de mayor tamaño.*

La ingeniería de precisión se puede considerar como aquella ingeniería orientada al diseño y desarrollo de máquinas, equipos y productos siguiendo unos principios básicos orientados a priorizar la precisión sobre cualquier otro requisito.

Popularmente la precisión se ha vinculado a determinados productos como por ejemplo el reloj, e incluso a algunos países como Suiza, pero realmente la precisión es un concepto bastante más amplio. En términos generales, un sistema preciso se puede entender como aquel sistema que realiza su cometido, su función, sin errores en cuanto a su objetivo y los errores son muy pequeños y cuantificables.

Hay tres conceptos muy relacionados que hay que entender cuando se habla de precisión: **la exactitud, la repetibilidad y la resolución**. Para explicarlos es muy común hacer referencia a un “cuentacuentos”. La exactitud es la veracidad de la historia que se cuenta, la repetibilidad es la capacidad para contar siempre la misma historia y la resolución son los detalles que explican la historia.

Para que un sistema se pueda considerar “**de precisión**” obviamente hay que conjugar los tres conceptos. Sin embargo, la realidad es que muchos de los esfuerzos de la ingeniería de precisión van centrados en asegurar la repetibilidad, ya que, aunque el objetivo final es la

exactitud, es importante conocer y comprender la repetibilidad de los componentes y del sistema en su conjunto, porque la repetibilidad es el límite inferior de la precisión.

Desde sus inicios, **Tekniker** ha incluido la ingeniería de precisión como una de sus líneas de especialización y la ha puesto en práctica en el desarrollo de diversos equipos y sistemas como máquinas especiales de medida, instrumentación científica, equipos de ensayo, componentes de optoelectrónica, patrones de medida, etc.

Además del diseño de los sistemas con dichos conceptos, un elemento clave en la ingeniería de precisión es el **proceso de fabricación** de los mismos, que a su vez requieren de medios productivos concebidos y empleados como elementos de precisión.

Las demandas del mercado buscan la fabricación de elementos de mayores dimensiones manteniendo los requisitos de precisión o incluso aumentándolos, por eso cada vez más, las máquinas herramientas tienen que ser capaces de realizar funciones con mayores niveles de precisión.

Estas demandas son cada vez más exigentes para el sector de la máquina herramienta, que tiene que responder con nuevos desarrollos, que desde su concepción incluyan los principios de la ingeniería de precisión, buscando una alta repetibilidad, evitando o limitando al máximo los **efectos de las deformaciones térmicas, la fricción, las holguras, e introduciendo accionamientos precisos con sistemas que permitan cerrar el lazo de posición debidamente alineados, etc.**

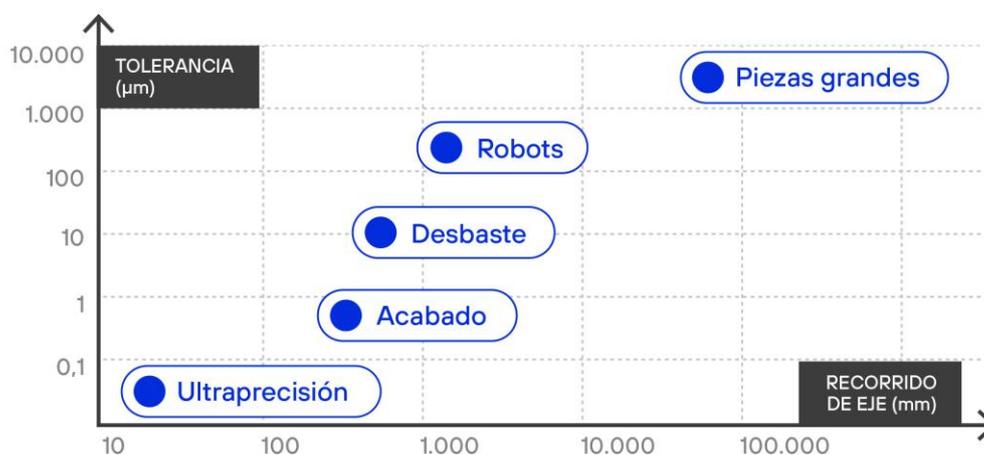


Figura 1. Precisión de los medios productivos en la actualidad. (Fuente: Tekniker)

## Medición en máquina

Para responder al reto de una fabricación cada vez más exigente, una de las tendencias es la de poder medir en la propia máquina durante la fabricación en base a distintos objetivos y dependiendo de la fase del proceso en la que se apliquen. En el caso de las mediciones realizadas en máquina, éstas permiten asegurar la alineación de la pieza en su amarre, realimentar el proceso para corregir deficiencias o validar la pieza una vez terminada.



Figura 2. Medición en máquina en diferentes etapas del proceso de fabricación. (Fuente: Renishaw)

El actual estado de la medición en máquina es cada vez más próximo a su aplicación en condiciones de taller, pero todavía se encuentra en una fase previa, es decir a nivel de investigación. Los principales centros de investigación de fabricación avanzada como Fraunhofer (Alemania) y AMRC (Reino Unido) ya están empezando a mostrar los primeros demostradores de máquina herramienta con capacidad de medición en máquina.

En los últimos cinco años se han llevado a cabo varios proyectos de investigación, sobre todo a nivel europeo, en los que se ha tratado de solventar las problemáticas que afectan a este reto tecnológico.

Los retos que más afectan a la capacidad y calidad de una medición realizada en una máquina herramienta son las siguientes:

- La precisión de las máquinas herramienta para llevar a cabo mediciones que cumplan con los requisitos dimensionales de los componentes.
- La reducción del tiempo de parada de máquina para llevar a cabo las calibraciones de máquina a través del desarrollo de procedimientos de calibración y patrones de calibración simplificados.

- La integración de un sistema de medición en máquina, tanto a nivel de hardware como de software.
- La asignación de incertidumbre a las mediciones realizadas con las máquinas herramienta.
- La caracterización del comportamiento térmico de la máquina herramienta para reducir su impacto en el estado de la máquina y, por lo tanto, en los resultados a obtener de las mediciones.
- La modelización del comportamiento térmico tras el mecanizado y el comportamiento gravitacional de la geometría de la pieza a medir.
- El software para la ejecución y explotación de los resultados obtenidos de la medición en máquina.
- Las herramientas de simulación aplicables a máquina herramienta para la preparación de estrategias de medición (*digital twins*).

## **Estrategia “cero defectos”**

Dentro de su línea de investigación destinada a la fabricación avanzada, Tekniker ha apostado por la estrategia de “cero defectos”, que consiste, tal y como indica la propia palabra, en fabricar productos con cero defectos. Se trata de que todos los productos fabricados cumplan con la totalidad de los requisitos de calidad exigidos y diseñados, evitando de esta manera los desperdicios asociados a productos rechazados.

Esta estrategia es especialmente demandada por los procesos de fabricación que se emplean en la producción de componentes de gran tamaño y un alto valor añadido como los componentes destinados al sector eólico, aeronáutico o científico.



Figura 3. Estrategia “cero defectos” basada en la medición por coordenadas en máquina herramienta. (Fuente: Tekniker)

Estos componentes se deben fabricar bien en primera instancia, exigiendo durante el propio proceso de trabajo un feedback preciso y constante en las diferentes etapas que lo componen con el objetivo de reducir al mínimo el número de piezas defectuosas.

Así, las diferentes etapas del proceso de fabricación deben adoptar el enfoque cero defectos desde la entrada de las materias primas hasta la salida del producto final terminado.<sup>1</sup>

Para llevar a cabo esta estrategia es necesario desarrollar las siguientes cuatro etapas del proceso de fabricación:

- Alineamiento de la pieza en la máquina herramienta: En esta tarea, la pieza en bruto se alinea respecto a los ejes de la máquina herramienta para la obtención de una pieza final de acuerdo con la forma geométrica esperada.
- Autocalibración de la geometría de la máquina herramienta: Esta tarea consiste en caracterizar y compensar la geometría de la máquina herramienta de forma automática, sin intervención del técnico.
- Medición en proceso para corregir el proceso de fabricación: Se trata de realizar la medición por coordenadas en proceso para aquellas cotas que se consideran críticas con el objetivo de asistir al proceso de fabricación y que éste se materialice de forma correcta. En este caso, la trazabilidad de la medición por coordenadas en la máquina es imprescindible para asegurar un proceso de fabricación cero defectos.
- Validación de la pieza en máquina herramienta: En esta tarea se realiza la medición

<sup>1</sup>R. Schmitt et al., “Advances in Large-Scale Metrology – Review and future trends,” CIRP Annals - Manufacturing Technology, 2016.

por coordenadas en la máquina herramienta para validar que las cotas críticas del componente se han fabricado de forma adecuada, garantizando que se puede extraer la pieza de la máquina con la garantía de ser aceptada o sin necesidad de ser retrabajada tras el control de calidad.

## **Enfoque multidisciplinar**

Tekniker busca la mejora de la precisión en la fabricación a través de un enfoque multidisciplinar, apoyándose en los principios de la ingeniería de precisión para el diseño y desarrollo de equipamiento, en una investigación constante en los procesos de fabricación (convencionales y no convencionales), y su interacción en el conjunto del sistema desarrollando novedosas estrategias de control y compensación, apoyadas en procesos de monitorización y técnicas de caracterización de máquina como Tekniker Fingerprint y modelos digitales a diferentes niveles.

*Fernando Egaña, director de Ingeniería Mecánica de Tekniker*