

## Desarrollo mecatrónico de sistemas flexibles para la ingeniería de precisión: posicionador dual de resolución nanométrica.

Masante, A.E.<sup>1</sup>; Flores, G.M.<sup>1</sup>; Hecker, R.L.<sup>1,2</sup>; Lamas, L.<sup>1</sup>; Ratkovich, F.O.<sup>1</sup> y Villegas, F.J.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Pampa (FI-UNLPam), Calle 7 N° 479, General Pico, L. P., Argentina

<sup>2</sup>CONICET

alejandromasante@gmail.com

### RESUMEN

Un posicionador nanométrico forma parte de dispositivos de alta precisión en áreas como microscopía, microfabricación, manipulación biológica, metrología, entre otras. Estos sistemas generalmente utilizan actuadores piezoeléctricos para generar la deformación elástica de una estructura que guía el movimiento. Aunque se caracterizan por ofrecer una resolución teórica ilimitada, su desplazamiento suele ser de algunas decenas de micrones, incluso con amplificación mecánica. Sin embargo, muchas aplicaciones requieren desplazamientos mayores con un alto grado de precisión a lo largo de todo el rango de movimiento. Una manera efectiva de lograr este objetivo se consigue a partir de un sistema de posicionamiento dual. Este consiste de dos sistemas montados en serie, donde uno de ellos se caracteriza por lograr desplazamientos amplios, con resolución moderada y el otro de mayor resolución, pero menor recorrido. Esta solución permite combinar las bondades de cada uno para cumplir el objetivo de posicionamiento, situación que no puede lograrse solo con uno de ellos. El desarrollo de estos sistemas impone exigencias tanto en el diseño mecánico del conjunto como en la estrategia de control. El diseño debe garantizar una solución compacta que permita su utilización dentro de sistemas de manipulación. Además, el rango de desplazamiento del sistema de alta resolución debe ser lo suficientemente amplio para compensar los errores de posicionamiento del sistema de baja resolución. Referido al control de estos dispositivos, se puede señalar que el mismo debe garantizar una adecuada coordinación entre ambas etapas de movimiento, asegurando que las mismas operen de manera colaborativa para alcanzar la posición deseada. Por su parte, el controlador debe ser capaz de ofrecer un correcto desempeño en presencia de eventuales perturbaciones que puedan incidir sobre estos sistemas durante su funcionamiento. Por lo expuesto anteriormente, el grupo de Mecatrónica Aplicada de la FI-UNLPam ha trabajado en el diseño y ensamble de un posicionador dual de estructura monolítica para un recorrido de 10 mm de amplitud y resolución nanométrica. La etapa de baja resolución será accionada con un motor paso a paso y un sistema de tornillo-tuerca montado sobre una estructura y acoples impresos con tecnología 3D. La combinación del paso del tornillo y el paso del motor definen una resolución de posicionamiento de 2,5  $\mu\text{m}$ . La etapa de alta resolución se diseña para un recorrido de 30  $\mu\text{m}$  y se implementa en el área de trabajo



del sistema de baja resolución. Se utiliza un actuador piezoeléctrico de 16  $\mu\text{m}$  de desplazamiento nominal y un mecanismo de tipo puente para amplificar su recorrido, como se ilustra en la Figura 1. En forma paralela a la etapa de diseño se ha trabajado en el desarrollo del algoritmo de control aplicable a estos sistemas, que permita compensar parte de su dinámica no conocida. Como avances del trabajo de investigación, se presentan cuestiones afines al diseño del sistema dual desarrollado y resultados preliminares a lazo cerrado obtenidos con el algoritmo de control propuesto, utilizando el equipamiento que se ilustra en la Figura 2.

Palabras clave: posicionamiento, precisión, piezoeléctrico, control.

## Mechatronic Development of Flexible Systems for Precision Engineering: Dual Stage Nanopositioning System

### ABSTRACT

A nanopositioning system is part of high-precision devices used in areas such as microscopy, microfabrication, biological manipulation, and metrology, among others. These systems typically utilize piezoelectric actuators to elastically deform a structure that guides the movement. Although they are characterized by theoretically unlimited resolution, their displacement is usually only a few tens of microns, even with mechanical amplification. However, many applications require larger displacements with a high degree of precision across the entire range of motion. An effective way to achieve this goal is through a dual-stage system. This consists of two systems mounted in series, where one is designed for wide displacements with moderate resolution, while the other offers higher resolution but with a shorter stroke. This solution combines the strengths of each system to meet positioning objectives, which cannot be achieved with just one of them. The development of these systems imposes demands on both the mechanical design of the assembly and the control strategy. The design must ensure a compact solution suitable for use within manipulation systems. Additionally, the displacement range of the high-resolution system must be sufficiently broad to compensate for positioning errors from the low-resolution system. Regarding the control of these devices, it is essential to ensure adequate coordination between the two stages of movement, ensuring they operate cooperatively to reach the desired position. Furthermore, the controller must be capable of performing effectively in the presence of any disturbances that may affect these systems during operation. For these reasons, the Applied Mechatronics group at FI-UNLPam has worked on the design and assembly of a monolithic dual-stage nanopositioning system, featuring 10 mm stroke and nanometric resolution. The low-resolution stage will be driven by a stepper motor and a screw-nut system mounted on a 3D-printed structure and coupling. The combination of the screw pitch and the motor step defines a 2,5  $\mu\text{m}$  positioning resolution. The high-resolution stage is designed for a stroke of 30  $\mu\text{m}$  and is implemented within the work area of the low-resolution system. It employs a piezoelectric actuator with a 16  $\mu\text{m}$  nominal displacement and a bridge-type mechanism to amplify its stroke, as illustrated in Figure 1. In parallel, part of this workgroup has advanced in the design of control algorithms applicable to these systems, aimed at



compensating for some of the uncertain dynamics present. As a result of the research, we present aspects related to the design of the developed dual system and preliminary closed-loop results obtained using the proposed control algorithm, using the equipment illustrated in Figure 2.

Keywords: positioning, accuracy, piezoelectric, control.

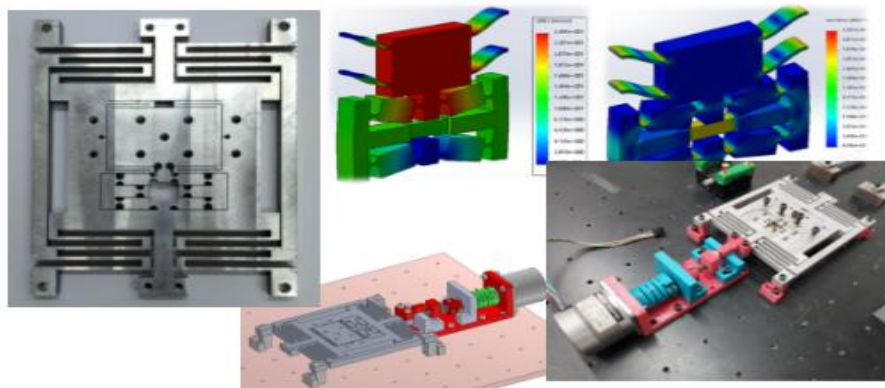


Figura 1: Diseño y montaje del posicionador dual de alta resolución.

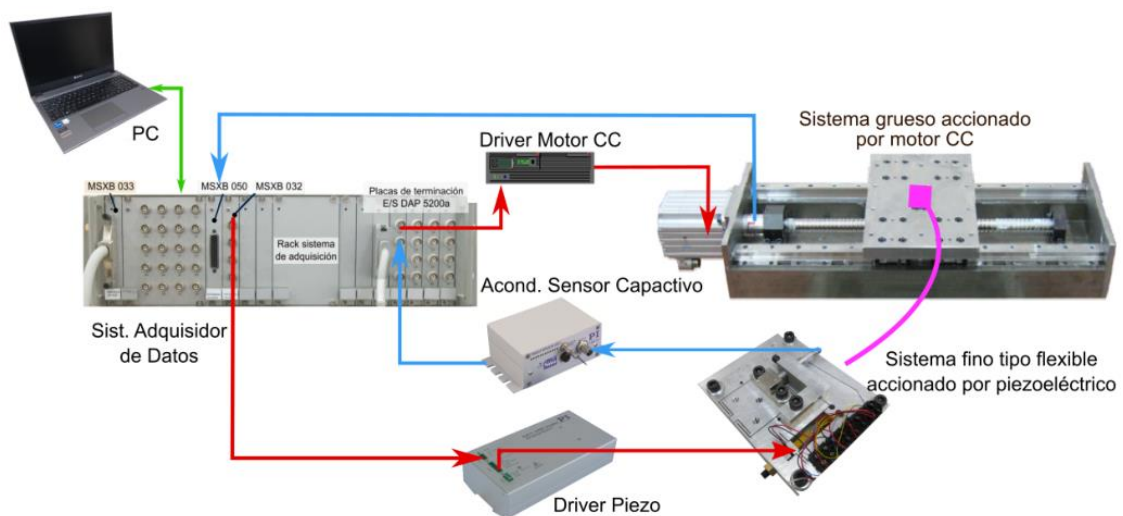


Figura 2: Equipamiento utilizado para pruebas de control.