

# Los actuadores de posicionamiento para el espejo primario del Extremadamente Grande Telescopio Europeo (E-ELT) funcionan con LabVIEW y hardware PXI

Artículo cedido por National Instruments

Miguel Núñez del  
Instituto de Astrofísica  
de Canarias



*La plataforma NI PXI nos permitió reducir significativamente el tiempo de desarrollo al mismo tiempo que se obtuvo una gran flexibilidad y rendimiento en tiempo real, cumpliendo con todos nuestros requisitos en cuanto a productos electrónicos y software. La utilización de LabVIEW permitió la implementación de un controlador en tiempo real y módulos de FPGA en el mismo entorno, lo cual nos ayudó a conseguir una integración rápida y a obtener un producto autónomo fiable.*

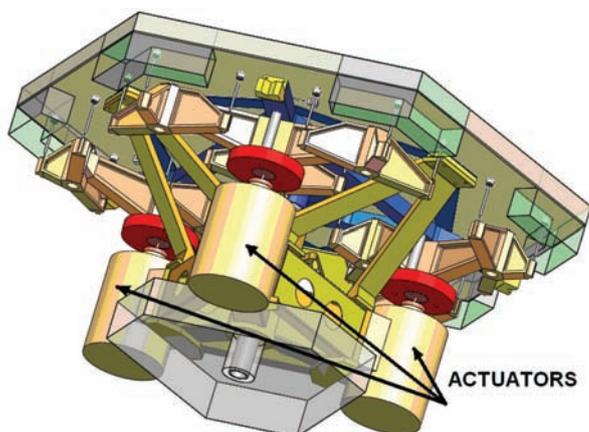
## El reto

*Desarrollo de la electrónica y del software embebido utilizado para gestionar y coordinar tres prototipos de actuadores de posición nanométricos para que el espejo primario del Extremadamente Grande Telescopio Europeo (E-ELT) pueda mover 90 Kg con una precisión nanométrica, siendo conceptualmente un representante del diseño de la electrónica del futuro para la producción en serie.*

## La solución

*Utilizar los módulos NI LabVIEW Real-Time y LabVIEW FPGA en la plataforma NI PXI para proporcionar la flexibilidad necesaria que permita interactuar con varios dispositivos y garantizar una baja latencia y jitter para una velocidad de comandos externos de 1 kHz e incluso una velocidad superior del muestreo interno de la posición y del lazo de control del servo.*

Figura 1. Actuadores de posición en un E-ELT Mirror Segment



El E-ELT es la iniciativa del Observatorio Europeo Austral (ESO: European Southern Observatory) para construir un telescopio con una apertura de 42 m de diámetro que permita allanar el camino de nuevos descubrimientos científicos en astronomía. El espejo primario del telescopio estará integrado por 984 espejos. Cada espejo, (se muestra en la Figura 1), se puede mover en tiempo real utilizando la posición de tres actuadores para compensar las deformaciones de la estructura de soporte subyacente debidas a la gravedad, temperatura y golpes de viento. La Compañía Española de Sistemas Aeronáuticos (CESA) está diseñando y desarrollando las partes mecánicas de tres prototipos de actuadores de posicionamiento y el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) está desarrollando la electrónica, el software y el control del servo.

Entre los requisitos más difíciles de los actuadores (ver figura 1) se incluyen: una capacidad de desplazamiento de 15 mm, un soporte para masas de 90 kg, un RMSE (Root Mean Square Error) de 1,7 nm en el seguimiento de una rampa lenta, una velocidad de comandos externos de 1 kHz y un nivel muy bajo de latencia y jitter.

La propuesta del actuador mecánico es un diseño de dos etapas. La etapa de baja resolución del movimiento, mediante un motor sin escobillas, ofrece una gran capacidad de desplazamiento y poca resolución. La etapa de alta resolución del movimiento, con una bobina móvil, ofrece buena

resolución, gran ancho de banda y pequeños desplazamientos. Cada etapa tiene su propia electrónica de potencia, sensor de retroalimentación y controlador del servo. Los controladores de las etapas de alta y baja resolución del movimiento trabajan en coordinación para que los actuadores funcionen como un conjunto.

La electrónica y el software para la coordinación general, la gestión de los comandos externos, la funcionalidad de depuración y la implementación de los controladores de los servos está contenida en un chasis PXI y el controlador con un sistema operativo en tiempo real proporciona una gran flexibilidad y potencia de cálculo. El controlador de servo de la etapa rápida de alta resolución del movimiento se lleva a cabo en una tarjeta FPGA (Field Programmable Gate Array) NI PXI-7842R, mientras que el controlador de la etapa lenta de baja resolución del movimiento se lleva a cabo en el controlador NI PXIe-8130. Además, el diseño del software se divide en dos aplicaciones: el software del actuador embebido y un simulador del telescopio desarrollado como una herramienta auxiliar para simular como el ordenador del telescopio se conecta con los actuadores.

## Software del Actuador

La aplicación del actuador se compone de un módulo en el controlador en tiempo real NI PXIe-8130 y un módulo en la tarjeta FPGA PXI-7842R. El software del controlador en tiempo real incluye la funcionalidad de cada actuador – autocomprobación inicial, una máquina de estados, una palabra de estado, un registro de errores y la gestión de los parámetros configurables. Otras tareas realizadas incluyen la comprobación de la

entrada procedente de la tarjeta FPGA mediante comandos externos sobre el bus SPI (Serial Peripheral Interface), la implementación del controlador de la etapa del servo de baja resolución que se transmite a través de una red CAN (Controller Area Network) o CANopen a un controlador de motor sin escobillas (brushless), la gestión de un buffer circular para propósitos de depuración de los datos sincronizados procedentes del módulo FPGA FIFO y la lectura de los sensores de retroalimentación a través de UDP/IP. La tarjeta FPGA implementa un esclavo del bus SPI, el controlador del servo de la etapa de alta resolución, la escritura y la lectura analógica y la sincronización para proporcionar datos al controlador en tiempo real a través de una memoria FIFO.

## El simulador de telescopio

Para probar la posición de los actuadores en relación a los requisitos, se desarrolló una segunda aplicación para la simulación del ordenador del telescopio con el que los actuadores tenían que interactuar a través del bus SPI. Este ordenador juega el papel de maestro del bus SPI, mientras que los actuadores son los esclavos del bus SPI. Esta aplicación auxiliar envía millones de comandos de posición a través de bus SPI a 1 kHz y lee las respuestas del bus SPI procedentes de los actuadores a 1 kHz. También adquiere los datos digitales a 5 kHz de un sensor de posición externo adicional instalado en el banco de pruebas mecánicas para cotejarlo con el sensor interno del actuador. Se requiere que estas tres fuentes estén obligadas a registrarse al mismo tiempo con una sincronización mejor de 200  $\mu$ s, almacenando los datos en archivos binarios para el análisis fuera de línea. Durante una prueba de una hora, este archivo llegará a ser mayor de 100 MB. La interfaz de usuario gráfica de la figura 2 muestra la gestión de los comandos y traza un gráfico simultáneamente en el dominio del tiempo y en el de la frecuencia de los datos del sensor de posición externo adicional.

La solución que implementamos utiliza una tarjeta NI PCI-7811R basada en una FPGA de E/S digitales instalada en un PC con Windows XP.

## Rendimiento en tiempo real y flexibilidad al mismo tiempo

mediante la electrónica de los sensores externos.

- Protocolo TCP/IP sobre Ethernet para descargar los archivos auxiliares de depuración fuera de línea (off-line)
- Entrada digital para los sensores de lectura utilizados en la maniobra de posicionamiento inicial.

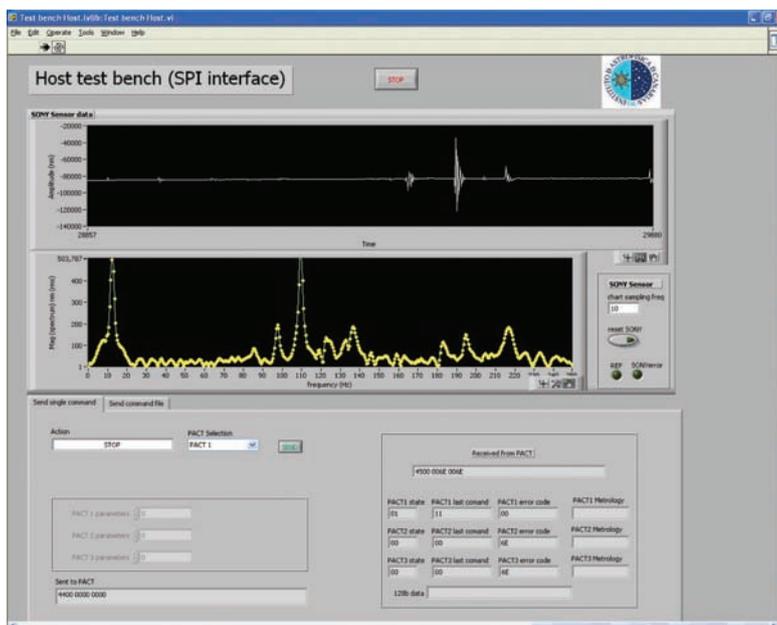


Figura 2. Interfaz gráfica de Usuario de la aplicación Telescope Simulator

La electrónica y el software de los actuadores tienen una amplia variedad de interfaces (Figura 3), la mayoría de los cuales están abiertos a cambios durante las primeras fases del desarrollo, se incluyen los siguientes:

- Bus SPI con un reloj de 4 MHz para recibir los comandos externos - un comando cada milisegundo
- Bus CAN para el envío de los comandos de control al motor de la etapa de baja resolución de movimiento con CANopen como capa de aplicación que proporciona información de los avisos de los conmutadores de final de desplazamiento y del hardware
- Salida analógica para los comandos de control de la bobina móvil de la etapa de alta resolución del movimiento.
- Entrada analógica para controlar la corriente en la bobina móvil de la etapa de alta resolución del movimiento.
- Protocolo UDP/IP sobre Ethernet para leer los sensores de posición

El uso de todas estas interfaces requiere una gran flexibilidad.

Las siguientes funciones tienen requisitos en tiempo real:

- Implementación del esclavo del bus SPI para leer las entradas digitales a 80 MHz que permita reaccionar en unos pocos microsegundos a un nuevo comando externo de entrada
- La ejecución del controlador del servo de la etapa rápida de alta resolución del movimiento compuesta de un PID (Proportional Integral Derivative) de varios filtros con una frecuencia entre 2 kHz y 10 kHz y que sea ajustable en la última fase del desarrollo
- Sincronización y almacenamiento de archivos binarios de gran tamaño para el análisis fuera de línea (off-line) de los comandos externos del bus SPI (1 kHz), las adquisiciones de las corrientes analógicas de la bobina móvil (2 kHz), los datos del sensor de posición adquiridos a través de Ethernet (2-10 kHz) y las variables internas del controlador del servo (2 a 10 kHz).

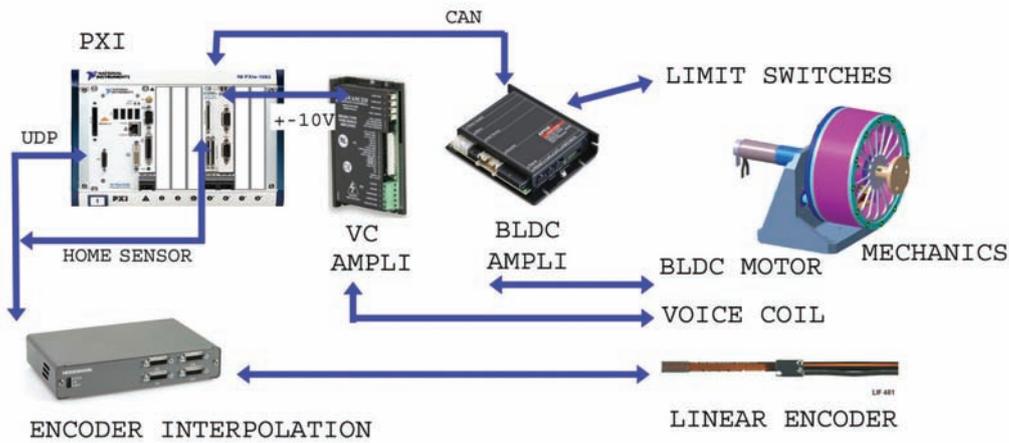


Figura 3. Esquema hardware de los actuadores

Cumplir con todos estos requisitos mediante plataformas disponibles en el mercado (COTS: Commercial Off-The-Shelf) podría implicar un compromiso entre flexibilidad y

rendimiento en tiempo real. Sin embargo, al elegir el hardware y la programación de NI, LabVIEW Real-Time y LabVIEW FPGA, se obtuvo un rendimiento en tiempo real superior al de

los requisitos y sin perder flexibilidad al hacer cambios en la interfaz.

### Conclusión

La plataforma NI PXI proporcionó una reducción significativa del tiempo de desarrollo, manteniendo una gran flexibilidad y rendimiento en tiempo real, cumpliendo con todos los requisitos electrónicos y del software.

Gracias a LabVIEW, se implementaron un controlador en tiempo real y módulos de FPGA en el mismo entorno, lo cual nos ayudó a conseguir una integración rápida y a obtener un producto autónomo fiable.

Además, la asistencia eficiente y productiva de los ingenieros de NI nos ha ayudado a acelerar más aún nuestro desarrollo. 🎯