**Desarrollo e implementación de sistemas de control numérico para aplicaciones industriales mediante la utilización de dispositivos y sistemas de lógica programable.**

Conversión de máquinas herramienta de accionamiento manual en sistemas automatizados. Una propuesta basada en circuitos lógicos programables.

Grupo de Investigación en Lógica Programable

Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas

Universidad Nacional de La Matanza

San Justo, P. Bs. As. , República Argentina

fszklanny@ing.unlam.edu.ar

**Abstract**—Este trabajo resume un proyecto de investigación y desarrollo llevado a cabo en la Universidad Nacional de La Matanza. Basado en la existencia de un amplio parque de máquinas herramienta de accionamiento manual aún en funcionamiento, se propone su conversión, mediante el uso de sistemas lógicos programables, en equipos de accionamiento automático. La propuesta combina, para su implementación, la potencia de cálculo de microcontroladores digitales con la velocidad de operación de los sistemas basados en dispositivos lógicos programables del tipo FPGA. Las ventajas del sistema planteado se resumen en su bajo costo de implementación y su adecuación a distintos tipos de máquinas herramienta de accionamiento manual. Se hace particular referencia a la necesidad de poder controlar adecuadamente los movimientos de la herramienta bajo control del sistema automático, para lo que se analizan algunas alternativas para la generación de dichos movimientos.

Palabras clave – Automatismos; máquina herramienta; FPGA; Spartan3.

#  **Introducción**

Son ampliamente conocidos en el mercado industrial los sistemas de máquinas herramienta (tornos, fresadoras, etc.), basados en lo que se conoce como CNC. El control numérico por computadora ha permitido, a lo largo de estos últimos años, mejorar en forma notable los rendimientos de dichas máquinas herramienta en comparación con las tradicionales máquinas de control manual en las que las operaciones de torneado, fresado, etc., dependen de la habilidad del oficial operario que las maneja en forma manual.

Para muchos pequeños y medianos productores, este tipo de sistema tiene una limitación importante, derivada de sus altos costos que no permiten acceder a ellos de manera sencilla. Por consiguiente, muchos pequeños talleres o fábricas de bajo nivel de producción siguen aún, a pesar de los avances tecnológicos, trabajando con tornos y fresadoras de accionamiento manual.

Esta situación ofrece varios inconvenientes que pueden ser fácilmente solucionables con una transición hacia los sistemas automáticos. El primer inconveniente tiene que ver con que, al ser de accionamiento manual, los sistemas de este tipo no suelen tener el rendimiento, medido en términos de piezas producidas por unidad de tiempo, que ofrecen los sistemas de accionamiento automático. Como segundo inconveniente, se puede plantear que la calidad del material producido depende de la calidad del trabajo realizado por el operario a cargo de la máquina herramienta, lo que puede significar diferencias de calidad cuando la misma máquina es operada por diferentes personas. Un tercer inconveniente, muy notorio en muchas regiones o países, es la dificultad, cada vez mayor, de conseguir operarios formados en tornería o fresa, de experiencia y calificación profesional adecuadas. Las causas que generan esta última situación son diversas y no corresponden ser analizadas en este trabajo.

En consecuencia, y pensando en la posibilidad que ofrecen las técnicas basadas en circuitos lógicos programables (FPGA) o programados (microcontroladores), este proyecto se ocupa de la conversión y modernización de máquinas herramienta de accionamiento manual, para transformarlas en sistemas automatizados.

# **Objetivos**

Como ya se ha planteado, el objetivo final de este proyecto consiste en obtener un sistema de control, basado en lógica programable, que permita la conversión de distintos tipos de máquinas herramienta de control manual en máquinas controladas por computadora.

Este objetivo final puede plantearse sobre la base de los objetivos particulares que se detallan a continuación.

Es un objetivo del presente proyecto obtener un sistema automático para su aplicación en máquinas herramienta de control manual, que sea de bajo costo y sencillo mantenimiento.

Es otro objetivo del presente trabajo justificar los métodos de generación de los movimientos requeridos para realizar el trabajo de torneado o fresado, mediante procedimientos matemáticos adecuados.

Es un tercer objetivo del presente trabajo la implementación de esos movimientos de modo de accionar un conjunto de motores paso a paso que permitan el desarrollo de movimientos sobre los tres ejes X-Y-Z, lo que permitirá el uso de este sistema en diferentes tipos de máquinas herramienta.

# **Fundamentación del Proyecto y Antecedentes**

El proyecto que se describe tiene como antecedente el desarrollo de un sistema de medición, basado en técnicas de lógica programable, de alta velocidad y bajo costo. Este proyecto, ya implementado y en funcionamiento, permite realizar una medición de alta precisión y en alta velocidad, compatible con las necesidades del sistema de control. Las características del sistema de medición se describen en la referencia [1].

El sistema de medición determina el posicionamiento de los motores que controlan el trabajo de la herramienta instalada. Los resultados obtenidos se utilizan en este sistema de control para generar la continuidad de dichos movimientos, sobre la base de la información almacenada que, como si fuera un plano mecánico, indica el diseño de la pieza a realizar. Esta información relativa al diseño puede ser generada, mediante los métodos matemáticos más adecuados, en una computadora personal desde la cual será transferida al sistema de control, o bien puede almacenarse en algún elemento de almacenamiento (memoria) propio del sistema de control.

# **Responsables del proyecto**

El proyecto de investigación que se presenta en este trabajo fue desarrollado por el Grupo de Investigación en Lógica Programable, que desarrolla sus actividades en el ámbito del Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas de la Universidad, coordinado por el Ing. Fernando I. Szklanny como director de proyecto.

Formaron parte de este proyecto el Ing. Elio A. A. De María y el Lic. Carlos E. Maidana como responsables de la definición del sistema de hardware y el diseño integral de la electrónica del sistema de control.

El Ing. Edgardo Gho y el Sr. Martín Ferreyra Birón, alumno de la carrera de Ingeniería Informática, tuvieron a su cargo la definición del sistema de software, el diseño y la implementación de los sistemas y programas relacionados con los movimientos requeridos por el sistema de control y su vinculación con el sistema de computación asociado.

El Ing. Carlos Rodriguez, el Ing. Roberto Di Lorenzo y el Ing. Andrés Mauro fueron responsables del diseño mecánico, la fabricación y el montaje del sistema mecánico requerido para la implementación del sistema de control. Los planos mecánicos del sistema fueron realizados por el Sr. Leandro Bellana, alumno de la carrera de Ingeniería Electrónica.

# **Implementación del Sistema de Control.**

El sistema de automatización que se describe en el presente trabajo ha sido implementado sobre la base de un circuito programable Spartan 3 de la familia de circuitos lógicos programables Xilinx.

Para el control de movimientos y velocidades de los motores que controlan la herramienta, se planteó una solución basada casi íntegramente en el uso de un circuito de lógica programable FPGA, lo que implicó que una gran parte del sistema de control de motores haya sido desarrollado en VHDL. El sistema agrega además un microprocesador, el que, en la versión definitiva del sistema, quedó embebido en el FPGA. Para esta implementación puede utilizarse cualquier microprocesador de bajo costo y prestaciones medianas. En el caso particular de este proyecto, se utilizó un procesador Silabs, modelo C8051F340, cuyas prestaciones y características son adecuadas para la aplicación en desarrollo. En función de que el grupo de Investigación posee las licencias correspondientes, la solución definitiva se implementará con el microBlaze embebido en el FPGA.

Este microprocesador implementa la interfaz hombre máquina, que no tiene un requerimiento excesivo de velocidad. El mismo, además, realiza el cálculo de los pulsos requeridos para el desplazamiento de los motores paso a paso, de modo de generar un movimiento continuo en ambos ejes. El cálculo puede proponerse en base a dos criterios diferentes:

a.- Conociendo la cantidad de pulsos que debe entregar el controlador del motor paso a paso para obtener una determinada distancia de desplazamiento, puede transformarse la información recibida desde el sistema de computación en una serie consecutiva de cantidades de pulsos. El sistema de control entrega al motor paso a paso correspondiente a cada eje el número de pulsos requerido para generar el movimiento en el sentido que también se le indica, y el motor realiza el correspondiente desplazamiento. Al completar el movimiento, una señal de interrupción indica que el motor está listo para emprender un nuevo movimiento.

b.- Enviar pulsos al motor, en forma individual, de modo de que el controlador del motor, antes de completado un movimiento individual, conozca los datos correspondientes al siguiente movimiento. Esto requerirá de una mayor potencia de cálculo por parte del microcontrolador antes mencionado, pero permitirá un movimiento sin discontinuidades, lo que dará por respuesta una mejor calidad en la producción de la pieza.

En la implementación inicial del sistema que se plantea se utilizó la primera de las dos soluciones propuestas, debido a que la misma implicaba una escasa necesidad de cálculo y la posibilidad de implementar una gran parte del sistema de cálculo de movimientos y velocidades en el dispositivo lógico programable. Al verificar los resultados de la implementación se vio que los trazos obtenidos ofrecían discontinuidades que no serían tolerables en un sistema de alta precisión. La segunda solución que se plantea, que consiste en hacer que los motores paso a paso no detengan su movimiento durante la totalidad del tiempo requerido para la producción de la pieza, permite evitar la ocurrencia de irregularidades evidentes en la fabricación, lo que obviamente resulta en una producción de mejor calidad y mayor adecuación a las especificaciones originalmente planteadas para el sistema de medición y control.

# **Conclusiones**

Se ha planteado en este trabajo un proyecto de investigación llevado a cabo en el ámbito del Grupo de Investigación en Lógica Programable, del Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas de la Universidad. El mismo propone la conversión personalizada de distintas máquinas herramienta de accionamiento manual, mediante el uso de sistemas lógicos programables, en equipos de accionamiento automático. La propuesta combina, para su implementación, la potencia de cálculo de microcontroladores digitales con la velocidad de operación de los sistemas basados en dispositivos lógicos programables del tipo FPGA.

Las ventajas del sistema planteado se pueden resumir en su bajo costo de implementación y su adecuación a distintos tipos de máquinas herramienta de accionamiento manual.

A partir del desarrollo de proyecto que se presenta, se encuentra en avanzada etapa de desarrollo una mejora del mismo basado en técnicas electrónicas más modernas relacionadas con el uso de sistemas embebidos. Tanto el proyecto que se presenta, como el actual y sus antecesores han sido desarrollados con el apoyo económico de la Universidad, por medio de sus programas CYTMA y PROMEI, habiendo obtenido también subsidio de la Provincia de Buenos Aires, a través de su Comisión de Investigaciones Científicas.

Se ha logrado desarrollar un sistema basado en dispositivos lógicos programables de la familia Spartan III de Xilinx Inc., de bajo costo y pequeño tamaño, adaptable a cualquier máquina herramienta de accionamiento manual para permitir su transformación en una máquina de accionamiento automático.

##### Agradecimientos

Los autores desean expresar su reconocimiento a las autoridades de la Universidad Nacional de La Matanza, así como a los Sres. Decano y Vicedecano del Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas, Ings. Osvaldo Sposito y Gabriel Blanco, por su constante apoyo para la realización de este proyecto.

Asimismo desean manifestar su reconocimiento al Sr. Secretario de Investigación, Dr. Daniel A. Giullianelli, por su colaboración cada vez que le fuera requerida.

Un agradecimiento muy especial tiene como destinatario a quien fuera Secretario de Investigación del Departamento y Director del proyecto de Investigación, Ing. Andrés Dmitruk, sin cuyo valioso aporte hubiese sido mucho más difícil llegar a la concreción del proyecto.

Por otra parte, debe reconocerse también la tarea de aquellos integrantes del grupo de investigación, que formaron parte del presente proyecto, y que, por distintas razones, hoy ya no forman parte del mismo. En este sentido, el agradecimiento al Ing. Andrés Mauro y al Sr. Leandro Bellana, quienes, en distintas etapas del proyecto, mostraron su capacidad profesional y la pusieron al servicio del grupo de investigación.