

# DISEÑO DE UN SISTEMA INTEGRADO PARA LA CONVERSION DE UN TORNO CONVENCIONAL A TORNO CNC

Nelson Londoño Ospina<sup>1</sup>, William A. Molina P.<sup>2</sup>, Luis A. Fonseca R.<sup>3</sup>  
Jairo Álvarez Díaz<sup>4</sup>, Horacio Giraldo C.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Nelson Londoño Ospina Ingeniero Electrónico, Ph.D(c). Docente Universidad de Antioquia

<sup>2</sup> William A. Molina P. Estudiante, Ingeniería Mecánica, Auxiliar de investigación, Universidad de Antioquia

<sup>3</sup> Luis A. Fonseca R. Estudiante, Ingeniería electrónica, Auxiliar de investigación, Universidad de Antioquia

<sup>4</sup> Jairo Álvarez Díaz Tecnólogo Mecánico, Auxiliar de Investigación, Adscrito al grupo GIMEL

<sup>5</sup> Horacio Giraldo C. Ingeniero Mecánico, Docente Universidad de Antioquia

## RESUMEN

Se propone un sistema integrado para la automatización de un torno convencional y la renovación tecnológica de viejos tornos manuales. El trabajo que se presenta es la continuidad de un proyecto previo [1], partiendo de la idea de mejorar el Torno que se había desarrollado y mejorar los tiempos, la precisión y la confiabilidad del mecanizado efectuado por el sistema. Se expone en términos generales los sistemas mecánicos y de software y se enfatiza en la implementación del sistema electrónico y de control. Además, se desarrolla una interfaz de usuario con un algoritmo que es capaz de interpretar los perfiles deseados desde un archivo DXF y generar de manera automática, de acuerdo a una estrategia de mecanizado implementada, las operaciones que deberá hacer la herramienta para mecanizar la pieza deseada; Así prescindir de la programación en códigos G y facilitar aun más la manipulación del sistema. Finalmente, se presentan con detalle los resultados obtenidos al finalizar el proyecto.

**Palabras clave:** *Torno, CNC, Control de motores, control de movimiento, microcontroladores.*

Recibido 15 de Marzo de 2010. Aceptado 25 de Junio de 2010

*Received: March 15, 2010 Accepted: June 25, 2010*

## SYSTEM DESIGN FOR THE CONVERSION OF A CONVENTIONAL LATHE TO CNC LATHE

### ABSTRACT

*Aiming at Automation of conventional lathes and technological renovation of old ones, a integrated system is proposed. The work that is presented is the continuation of a previous project [1], in order to improve accuracy, reliability and times during machining in the lathe that was developed. Mechanical and Software systems are slightly exposed. Electronical and control systems are deeply studied. Furthermore, an user interface with an algorithm that can interpret profiles from DXF files is developed. It automatically generates all operations that tool has to do in accordance with the machining strategy implemented. In this way it is possible to dispense with G codes and makes easier the interaction with the system. Finally, results of one of tests are described in detail.*

**Keywords:** *lathe, CNC, Motor Control, Movement Control, Microcontrollers*

## 1. INTRODUCCIÓN

En el año 2005 se realizó en la universidad de Antioquia en Medellín, Colombia, un proyecto de investigación en el cual se llevó a cabo el diseño y la construcción de un mini Torno de control numérico [2]. Cada eje era conducido por motores paso a paso con control de movimiento sin realimentación. La idea del trabajo presentado en este artículo es mejorar la precisión, confiabilidad y los tiempos del mecanizado efectuado por el sistema para posibilitar y hacer más factible la conversión de tornos convencionales a tornos CNC.

Durante los últimos 5 años, la mayoría de los esfuerzos investigativos en el área de Tornos CNC no se enfocan en la creación de un torno CNC, ni en su automatización, si no en la mejora de la precisión del sistema y en reducir los requerimientos de hardware especializado para la ejecución de los cálculos. Algunos de los trabajos realizados en esta área se presentan a continuación: En [3] se presenta un método para la reducción y compensación del desplazamiento térmico del centro del eje de giro del husillo. En [4] se diseña un algoritmo genético para la selección de herramientas de corte, la planeación de secuencias de la herramienta y la optimización de las condiciones de corte. En [5] se presenta el diseño de un controlador de fuerza. En [6] se desarrolla un método para la estimación del torque de corte sin usar un sensor de velocidad. En [7] se propone un algoritmo DSP para la obtención de los parámetros dinámicos de un servomecanismo desde un encoder óptico incremental. En [8] se propone una implementación de hardware de un torno CNC habilitado con el estándar STEP-NC. En [9] se diseña e implementa un controlador CNC usando hardware reconfigurable. En [2] se estudia el efecto de la geometría de la herramienta de corte y la velocidad de corte sobre la fuerza de corte y la temperatura en la punta de la herramienta. En [10] se desarrolla un sistema de tecnología móvil para monitorear y recibir datos desde máquinas CNC. En [11] se implementa un control para una óptima tasa de remoción de material en un Torno. En [12] se desarrolla un sistema para la adquisición de datos y monitoreo de máquinas herramientas CNC de arquitectura abierta usando Internet. En [13] se realiza un análisis de elementos finitos de la flexión que ocurre durante el corte en una herramienta para Torno HSS. En [14] se diseña un controlador difuso auto configurable para controlar la fuerza de corte y mantenerla constante durante el torneado.

En [15] se plantea el mecanizado multicorte en Torno controlados numéricamente. En [16] se determina la calidad de la precisión de un torno en base a las características dinámicas. En [17] se plantea un nuevo diseño de controlador para incrementar la precisión del sistema.

De todos los trabajos estudiados, el que más se acerca a la problemática que se aborda es una investigación realizada por Zhan Yiqing, Zuo Zhiyong, Xie Yun y Wei Wen en China [18]. Allí se plantea la investigación y la aplicación de tecnologías de automatización en la renovación de viejas máquinas herramientas importadas. En dicha investigación se demuestra que nuevas tecnologías de automatización pueden reducir la inversión monetaria para la renovación de las viejas máquinas y su consumo de energía.

En nuestra investigación se plantea un esquema y un sistema integrado para la automatización de tornos convencionales, los cuales permitirían, aun muy bajo costo, renovar viejas máquinas herramienta en universidades, y en la pequeña y mediana industria. Se presenta una visión general del torno CNC, explicando cada uno de los aspectos y etapas que lo conforman. Se enfatiza en los aspectos ligados a la Electrónica, sensorica y potencia, objetivo principal del artículo.

## 2. ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA CNC IMPLEMENTADO

La Fig. 1. ilustra el esquema general implementado en el proyecto donde:

**PC:** Es un computador de propósito general dotado de:

- Un software CAD, en el cual: se diseñan las piezas.
- Una interfaz gráfica
- Un software que genera una estrategia de maquinados definida y los comandos necesarios para construir la pieza
- Una librería para comunicación con la etapa de control.

**Tarjeta de control:** Basada en:

- Un microcontrolador que toma la información suministrada por el PC y la convierte en órdenes o señales de control.
- Una tarjeta de potencia con IGBT's
- Un sistema y sensores para corregir errores y proteger el sistema.

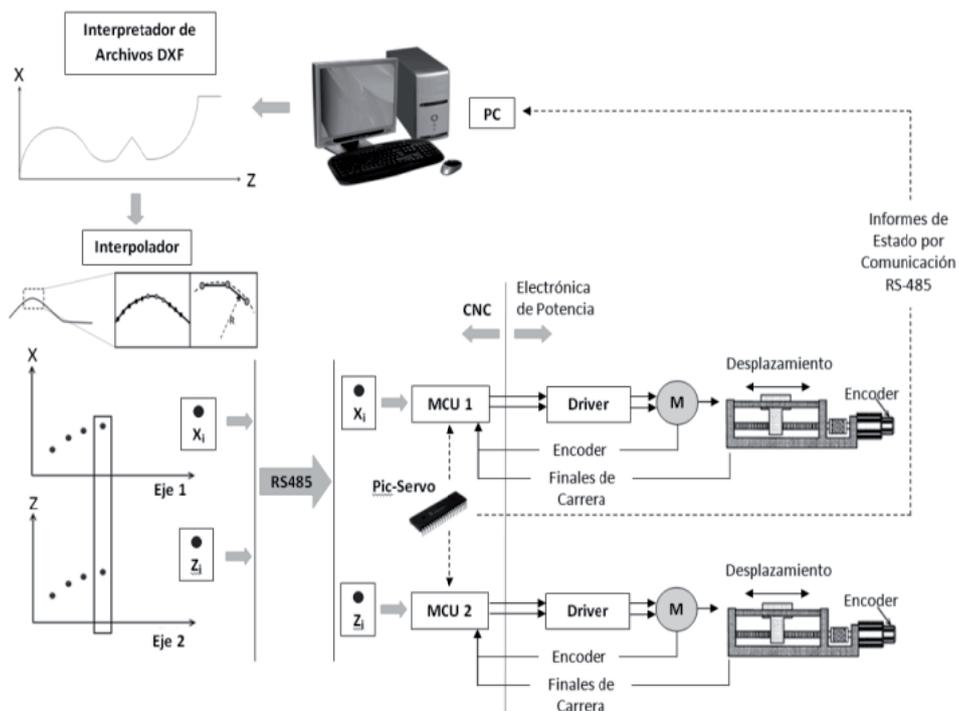


Fig. 1. Esquema general del sistema CNC implementado.[19]

**Torno:** Máquina herramienta dotada de un Sistema mecánico accionado por motores DC, que mueven el carro longitudinal, el carro transversal con la herramienta de corte y el mandril que contiene la pieza a torner.

Desde el punto de vista funcional, se puede concebir el CNC como una conjunción de tres sistemas claramente diferenciables y que cobijan igual número de disciplinas. En la Fig. 2 se ilustra esta clasificación y su interrelación, que requirió de la participación interdisciplinaria de especialistas en cada área [1], así:

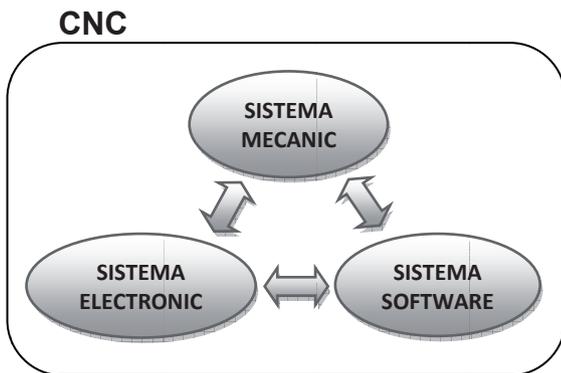
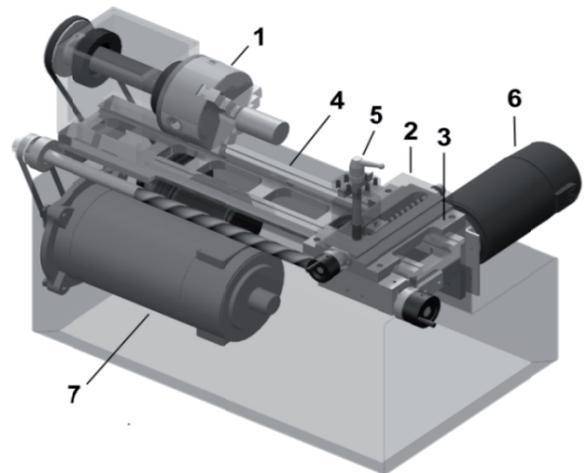


Fig. 2. Sistema del CNC.

**Sistema Mecánico:** Comprende el torno propiamente dicho Fig. 3



NUMERO	NOMBRE
1	Mandril - Husillo
2	Carro Transversal
3	Carro Longitudinal
4	Bancada Prismática
5	Torreta - Porta Herramienta
6	Motor eje Transversal
7	Motor eje Longitudinal

Fig. 3. CNC Implementado

**Sistema Software:** Que involucra la captura de datos y el procesamiento de la información desde el diseño CAD, hasta la entrega de datos al microcontrolador e interfaz de usuario, ver Fig. 4.

Compuesto por programas que permiten diseñar las piezas a construir, procesar la estrategia de maquinado, generar los valores discretos a ser enviados a los microcontroladores, y suministrar la

interfaz que permite comunicar al operador con el sistema.

**Sistema Electrónico:** Incluye todos los aspectos ligados a la electrónica de potencia, acondicionamiento, microcontrolador, sensado y protección.

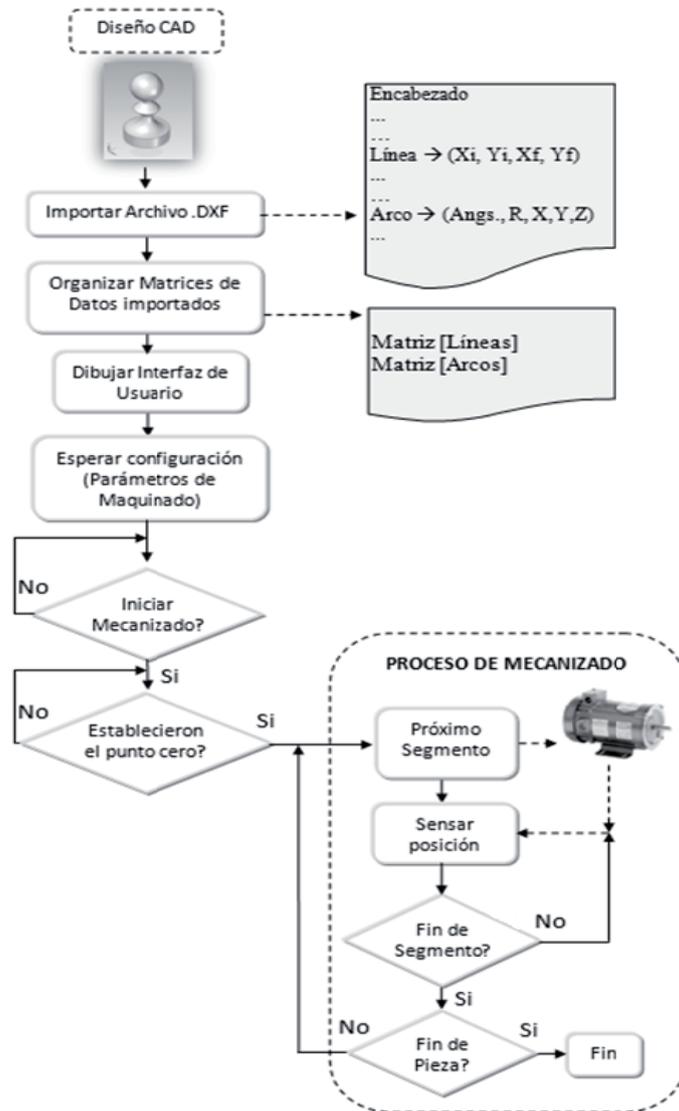


Fig. 4. Esquema general del sistema Software

### 3. INTERFAZ DE USUARIO

La interfaz de usuarios es una aplicación desarrollada en Visual Basic .NET para facilitar la

interacción entre el operario y la máquina. La Fig. 5 ilustra esta interfaz.

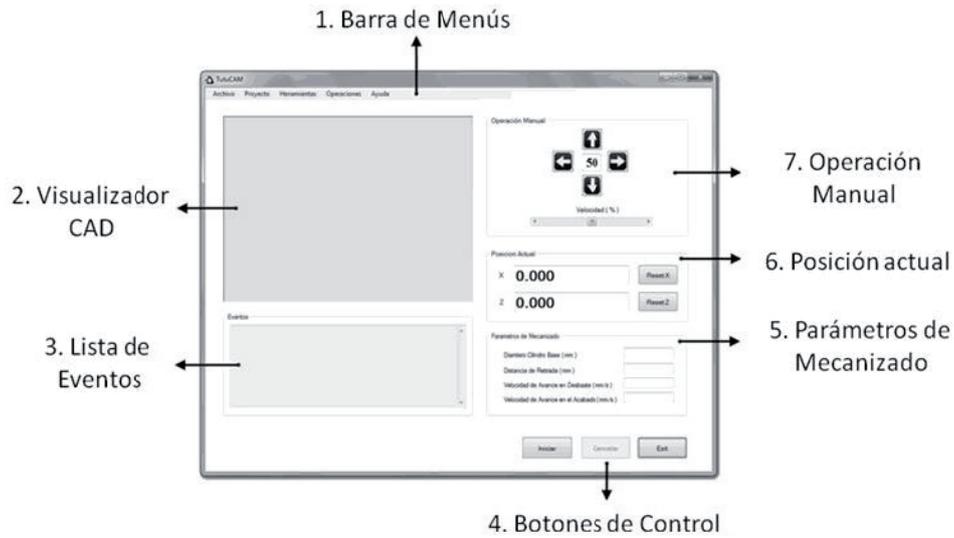


Fig. 5. Interfaz Gráfica

#### 4. SISTEMA DE CONTROL

El sistema electrónico, como se dijo anteriormente, tiene como objetivo recibir la información procedente del PC, procesarla y controlar el sistema de potencia que actuará sobre los motores. El esquema general del sistema implementado se ilustra en la Fig. 6.

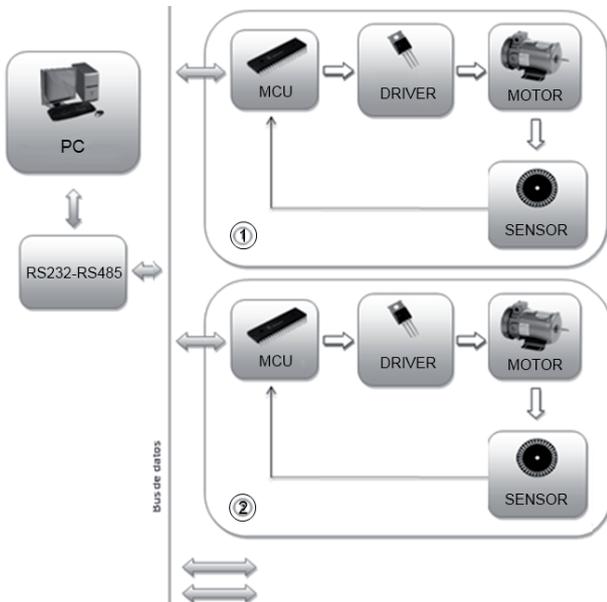


Fig. 6. Sistema de Control CNC.

Que se puede identificar mediante las etapas más generales ilustradas en la Fig. 7

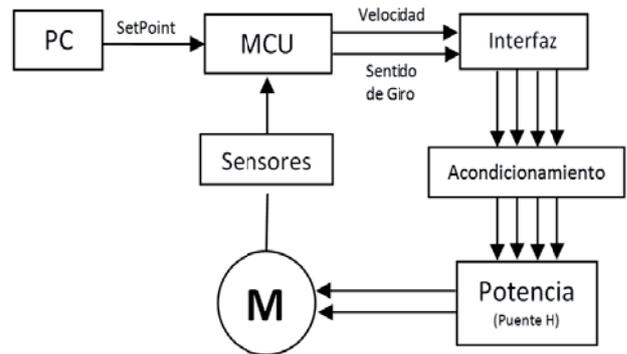


Fig. 7. Etapas del sistema de control CNC.

#### 4.1 MCU

Cada uno de los motores del sistema está controlado por un microcontrolador PIC-SERVO SC, de propósito específico, suministrado por la empresa **JEFFREY KERR, LLC** [20], concebido como una solución integrada para la implementación de servo control de motores DC con realimentación por encoders incrementales. Básicamente, cada microcontrolador se encarga de procesar las señales de entrada (procedente del PC) y calcular una acción de control en formato PWM para comandar los IGBT's que alimentan los motores y que, en última instancia, definen la posición, velocidad y torque de la herramienta y del carro. En la Fig. 8, se ilustra, de forma general, los parámetros más importantes a considerar y que corresponden a pines específicos del microcontrolador.

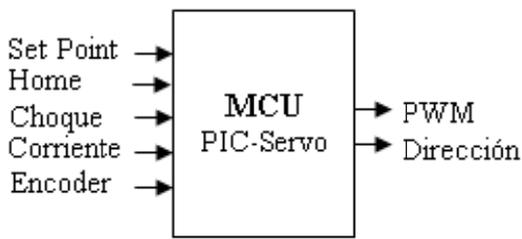


Fig. 8. Parámetros del PIC-Servo SC.

**Set Point:** Corresponde al punto de consigna para obtener un avance que debe realizar el motor. La información se suministra al microcontrolador mediante una interfaz serial.

**Home y Choque:** reciben las señales generadas por “Sensores de Final de carrera” que Informan al sistema de control el punto inicial y el punto final para referenciar y proteger el torno. Los sistemas que generan esta señal son básicamente de dos tipos:

**Electrónicos:** sensores de efecto Hall, referencia A1301.

**Mecánicos:** Activados cuando el carro supera un límite máximo permitido. Corresponde a una señal redundante para prever fallas en el sistema de efecto Hall. (Fig. 9).

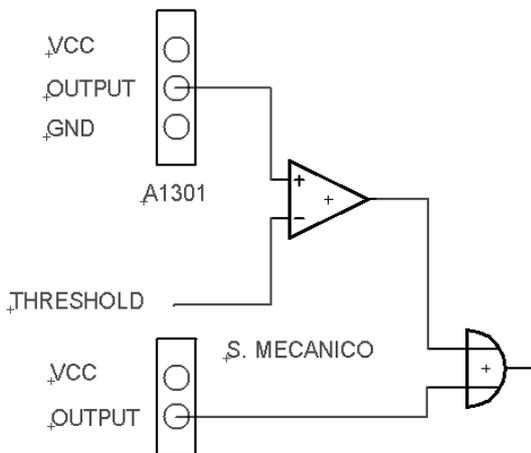


Fig. 9. Sistema de protección.

**Corriente:** mediante este pin, se informa al sistema de control el estado de los motores: el torque que están suministrando y la potencia que consumen. Para medir esta variable se utilizó un sensor de corriente de efecto Hall Allegro ACS712, de comportamiento lineal y resolución de 60-185mV/A, colocado en serie con la fuente de alimentación del motor.

**Encoder:** Los motores que controlan el carro longitudinal y el carro transversal, fueron dotados de encoders ópticos incrementales [21]. Cada encoder cuenta con una resolución de 400 pulsos por revolución. Se implementó un sistema de sensado infrarrojo con señales de cuadratura, de tal forma que, por software en el microcontrolador, la resolución de los encoders se incrementa a 4X; por tanto, para cada motor la resolución es de 1600 pulsos por revolución.

Los canales A y B, Fig. 10, son usados para determinar la dirección de la rotación del motor. Estas señales pueden ser decodificadas para determinar el sentido de giro del motor, Fig. 11.

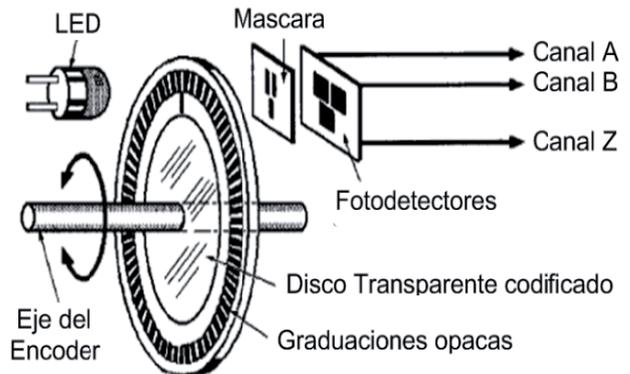


Fig. 10. Encoder.

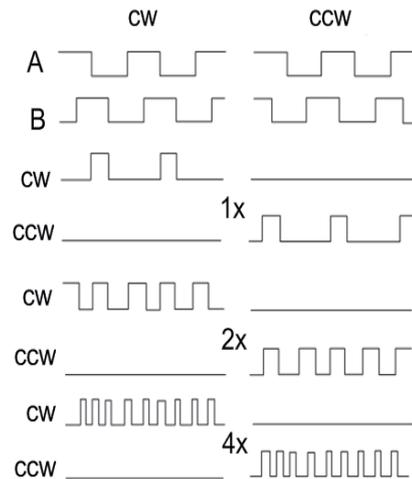


Fig. 11. Identificación Señales de encoder.

#### 4.2 Acción de control

El microcontrolador utilizado en el control del CNC se encarga de tomar las señales suministradas en los terminales Set Point y Encoder, y con éstas,

identifica la posición y la velocidad para calcular, por medio de un controlador PID digital, la acción de control más adecuada para alcanzar el objetivo. La acción ejercida tiene como salida dos señales:

*PWM*: aplicada a los IGBTs para controlar la velocidad de los motores.

*Dirección*: Una señal binaria (1 ó 0) que define del sentido de giro que deba tener el motor.

### 4.3 Modo de control de movimiento coordinado (CMC) [20]

Permite al computador coordinar fácilmente el movimiento de varios motores con controladores PIC-Servo SC. Cuenta con un buffer para almacenar una serie de puntos muy cercanos, que serán los puntos consigna para el controlador.

La coordinación de múltiples ejes ocurre de la siguiente manera, Fig. 12: El host (PC) discretiza la trayectoria deseada, envía una lluvia de puntos a cada controlador individual y envía un comando de Grupo para que todos los ejes se muevan al mismo tiempo de manera sincrónica.

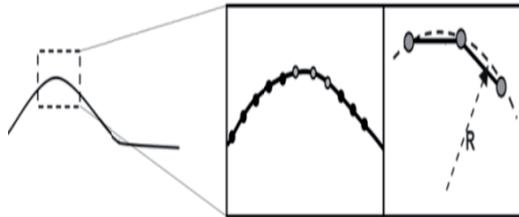


Fig. 12. Control de trayectoria

### Perfil trapezoidal de velocidad [22]

El microcontrolador realiza un control con perfil trapezoidal de velocidad programable, Fig. 13. Con éste, se obtiene suavidad y movimiento a alta velocidad sin sobre esforzar el servomotor.

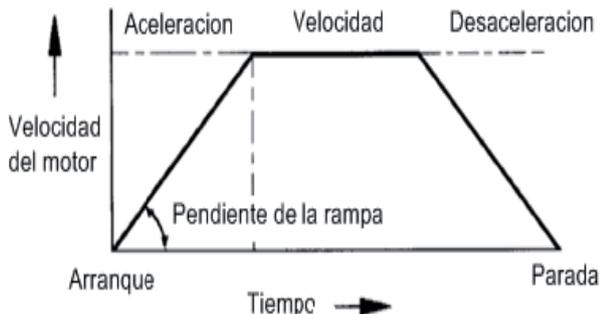


Fig. 13. Control trapezoidal de velocidad

### 4.4 Sistema de potencia

Los motores DC son alimentados mediante un puente H conformado por 4 IGBT's por cada motor, con lo cual, es posible controlar tanto su velocidad (voltaje DC) como su sentido de giro. En la Fig. 14 se ilustra el esquema utilizado.

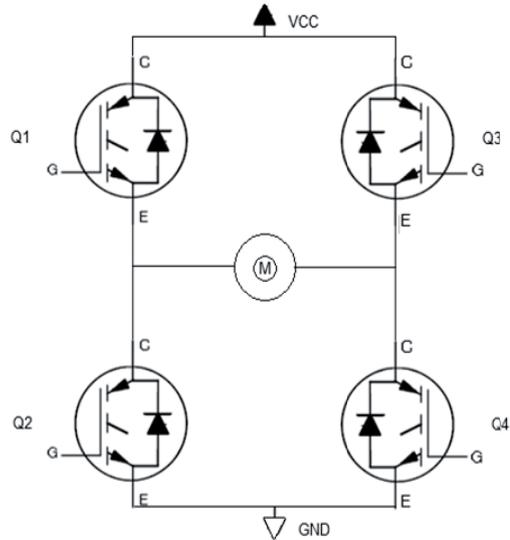


Fig. 14. Sistema de Potencia

*IGBT's*: Los IGBT [23], [24], [25] utilizados son los IRGB4061D en configuración puente H, los cuales, tienen las siguientes características básicas [26]:

- Voltaje entre colector y emisor: 600V.
- Corriente en Colector (C): 18<sup>a</sup>.
- Voltaje de encendido entre *Drain* (D) y *Emisor* (E): 9-20V.
- Tiempo de conmutación del orden de 50Ns.
- Diodo entre emisor-colector que permite conmutación a alta velocidad.

*Conmutación*: La topología en puente H exige 4 señales de control, una por cada motor, y sólo se cuenta con dos señales suministradas por el microcontrolador. Por tanto se debió transformar las dos señales de control (PWM y dirección) en 4. Para ello se optó por hacer la variación del sentido de giro con los IGBT Q2, Q4 y variar la velocidad por medio de los IGBT Q3 y Q4, Fig. 15.

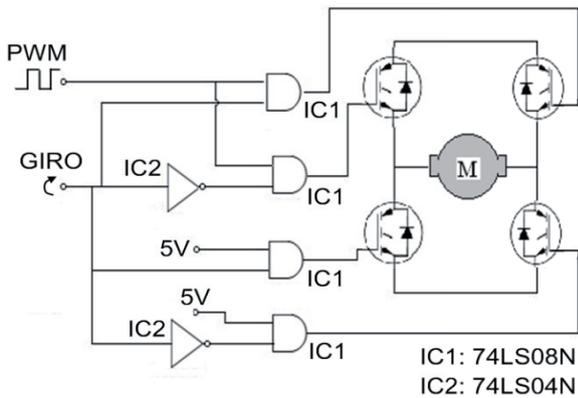


Fig. 15. Conversión de 2 a 4 señales de control.

#### 4.5 Acondicionamiento

Las señales de control deben ser aisladas para proteger el circuito contra cortos o fallo en la parte de potencia. Se utilizó el aislamiento óptico porque permite independizar selectivamente los sistemas. No obstante, estos optoacopladores tienen un retardo considerable, por lo que deforman la señal de PWM a la salida. Adicionalmente, es recomendable controlar el motor con frecuencias de PWM del orden de 10KHz a 20KHz para evitar ruidos audibles molestos para el ser humano. Por otro lado, si la frecuencia es muy alta, los retardos imputables al sistema de control de potencia pueden sobrepasar la deformación sufrida de la onda, lo que hará que se afecte el ciclo de dureza en etapas posteriores.

Para evitar los problemas anteriores, se introduce un buffer con transistores BJT y una compuerta Schmitt Trigger inversora CD40106, de tal forma que se recupera el flanco de subida inicial, sin afectar drásticamente su ciclo de dureza y se coloca una resistencia de  $10\Omega$  entre la salida del CD40106 y el G para descargar capacitancias parásitas entre G-E. En la Fig. 16 se resume la etapa de acondicionamiento.

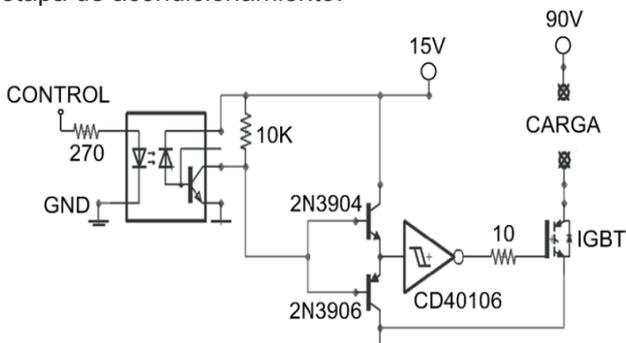


Fig. 16. Acondicionamiento

#### 4.6 Fuentes alimentación

Para los motores: Se diseñó una fuente no regulada de 90V y 5A, ver Fig. 17:

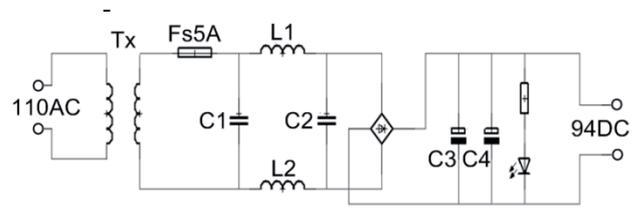


Fig. 17. Fuente Motores DC

Para circuito de disparo: Como se observa en la Fig. 14, solo dos (Q2 y Q4) de los IGBT's comparten el Emisor. Por éste hecho se debieron implementar 3 fuentes de disparo, una para Q2 - Q4, una para Q1 y otra para Q3, Fig. 18.

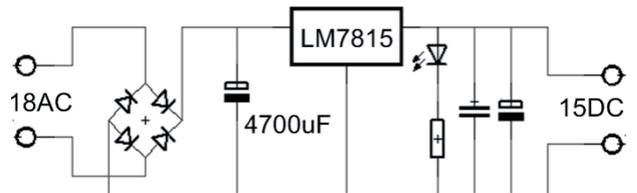


Fig. 18. Fuente circuitos de disparo

#### 4.7 Sistema de comunicación entre los microcontroladores y el PC

El sistema de comunicación implementado en el sistema de Control Numérico se ilustra en la Fig. 19. Cada uno de los bloques ha sido concebido como respuesta a una evaluación de posibilidades e inconvenientes, propias de éste tipo de sistemas. A continuación, se explica cada una de las etapas ilustradas.

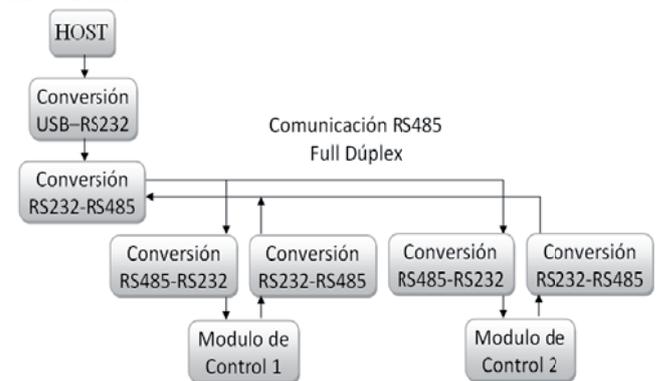


Fig. 19. Acondicionamiento

**Host:** Corresponde al PC.

**Conversor USB-RS232:** Se debe acondicionar la comunicación USB del PC al protocolo estándar

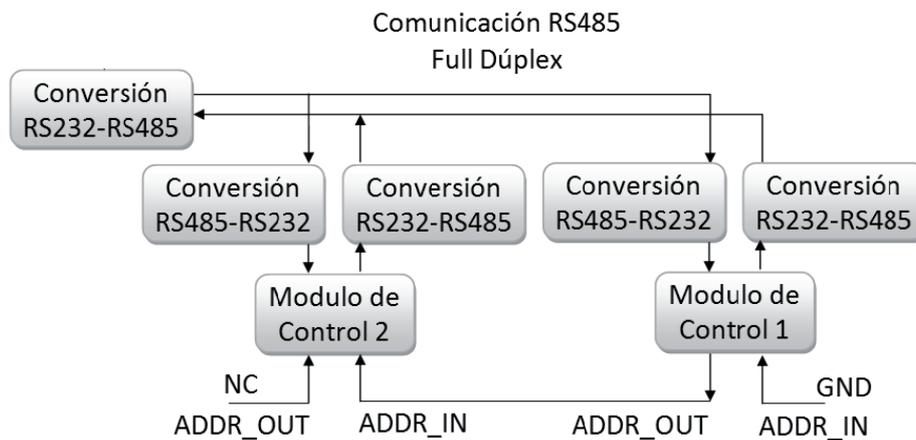
RS232, el cual es el protocolo que soportan los microcontroladores.

**Conversor RS232-RS485:** Se optó por el protocolo 485, debido a que era necesario crear una red entre el PC y los diferentes microcontroladores que comandan el movimiento de cada uno de los ejes de la máquina. Además, fueron evaluadas muchas de sus ventajas tales como su inmunidad al ruido (Transmisión diferencial balanceada), alcance máximo de la señal de aproximadamente 1200m a 100kbps y capacidad de trabajar en la configuración maestro/esclavos [27]. Para poder

trabajar en ésta configuración fue necesario implementar RS485 full dúplex (4 Líneas), con el fin de crear una red de datos segura, donde se evitan colisiones de información.

**4.7.1 Direccionamiento [20]**

Una parte importante para el sistema de comunicación es el direccionamiento de los módulos (esclavos). Para ello, se utilizan dos pines del microcontrolador: ADDR\_IN y ADDR\_OUT. Los dos módulos deben estar conectados como se indica en la Fig. 20.



**Fig. 20.** Direccionamiento de módulos.

El procedimiento de direccionamiento es el siguiente: Cada vez que el sistema es encendido, todos los módulos arrancan con dirección por defecto 0x00, y sus pines correspondientes ADDR\_OUT arrancan en 1, de tal manera que desactivan la comunicación de los módulos subsecuentes, ya que por características propias de los módulos, mientras el pin ADDR\_IN se encuentre en 1 su comunicación estará desactivada. Únicamente tendrán comunicación los módulos que tengan en cero lógico su pin de ADDR\_IN. En ese orden de ideas, todos los módulos arrancan con su comunicación desactivada y únicamente tendrá la comunicación el primer módulo, el cual tiene su pin ADDR\_IN por defecto a tierra (en cero). El computador empezará a comunicarse con el módulo 1 de dirección 0x00 que está activo en ese momento, cambiará su dirección a 0x01 e inmediatamente dicho módulo cambiará el estado de su salida ADDR\_OUT a 0, de tal forma que activara la comunicación del siguiente módulo, el cual tomará la dirección 0x00

por defecto. Una vez hecho esto, el computador volverá a comunicarse con el módulo de dirección 0x00 activo y cambiara su dirección ya en este caso a 0x02. Igualmente dicho módulo colocará su pin ADDR\_OUT en cero y habilitará la comunicación del siguiente módulo si lo hay; éste procedimiento continuara hasta que el computador no reciba respuesta de ningún módulo de dirección 0x00.

**4.7.2 Protocolo [20]:**

Las tramas utilizadas para realizar la comunicación entre el PC y los módulos son las siguientes:

**Trama de datos del PC al MCU**

Cabecera	Dirección del módulo	Comando	Adicionales del comando	Check-sum
(1 Byte)	(1 Byte)	(1 Byte)	(0 a 15 Bytes)	(1 Byte)

*Byte de cabecera:* Es utilizado para dar inicio a la comunicación, e indicarle a los módulos que lo que continúa es un comando valido.

*Byte de Dirección del módulo:* Indica qué módulo ó módulos de la red deben atender el comando a ejecutar.

*Byte de Comando:* Como su nombre lo indica, contiene la orden que el módulo debe ejecutar, y el número de bytes adicionales que requiere este comando.

*Bytes Adicionales del Comando:* Contienen la información necesaria para que el comando se ejecute de manera correcta.

llegado a los límites del movimiento, si se ha excedido el error del controlador, si hay error en el Checksum, etc.

*Bytes Adicionales del Estado:* Entrega información referente a procesos necesarios para el funcionamiento del sistema, por ejemplo, Valor del Encoder, número de overflows en el contador de la posición, o si el sistema está ejecutando una trayectoria entre otros.

*Byte de Checksum:* Es una metodología para la detección de errores en la comunicación. Si en este se presenta un error el comando enviado al módulo no se ejecutará y como respuesta, se enviara en el byte de Estado, en el cual un bit indica éste error.

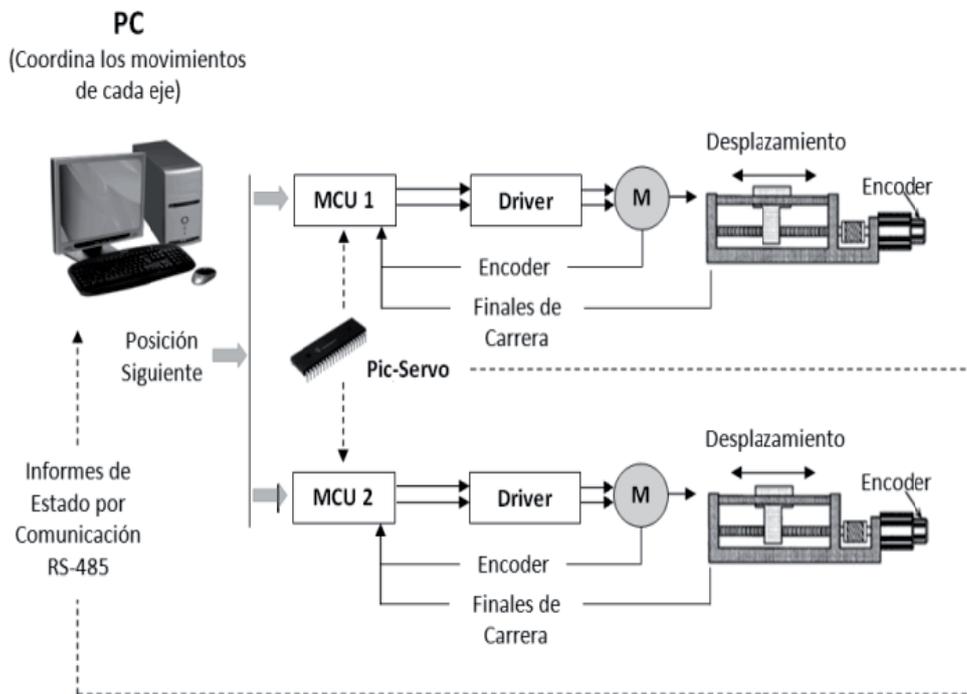
**Trama de datos del MCU al PC**

Byte de Estados	Bytes Adicionales de Estado	Checksum
(1 Byte)	(1 Byte)	(1 Byte)

*Byte de Estado:* Retorna el estado actual del sistema, es decir, si hay sobre corriente, si se ha

**5. RESULTADOS**

Culminado el proyecto, se cuenta con un sistema CNC, cuya estructura general se resume en el diagrama de la Fig. 21.



**Figura 21.** Sistema electrónico, mecánico y de software integrado en un Torno académico CNC.

Este sistema modular permitirá fácilmente y con pocas modificaciones mecánicas la automatización de tornos convencionales en universidades y en la pequeña y mediana industria. Para comprobar el desempeño del sistema CNC desarrollado, se realizaron varias pruebas de

mecanizado de fichas de Ajedrez, como peones y alfiles, en diferentes materiales como aluminio y Latón. Los perfiles de las piezas mecanizadas fueron desarrollados en AUTOCAD.

Una de las pruebas realizadas fue el mecanizado de un peón en Latón. El plano del perfil maquinado se muestra en la figura 22 y las líneas de la estrategia de mecanizado utilizadas por el software desarrollado se presentan en la Figura 23.

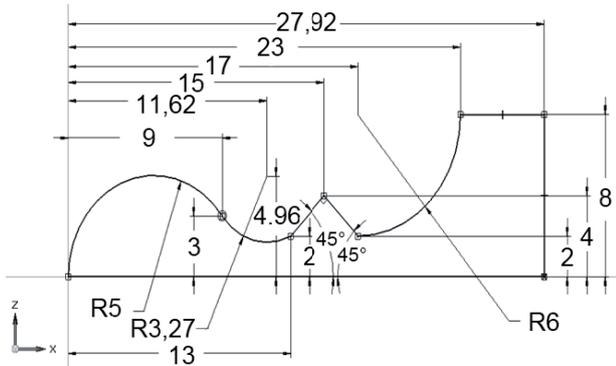


Figura 22. Plano del peón mecanizado en Latón.

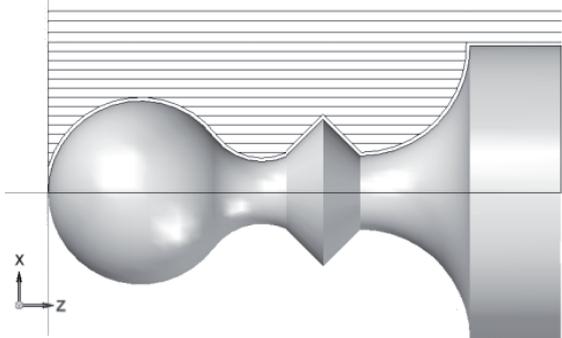


Figura 23. Trayectorias de la herramienta según la estrategia de mecanizado utilizada.

En la tabla 1 se detallan los parámetros de corte utilizados para el mecanizado. Estos fueron seleccionados teniendo en cuenta las recomendaciones dadas en [28].

Tabla 1. Parámetros de corte utilizados en el mecanizado del peón en Latón.

Parámetro	Valor
Diámetro del Cilindro Base	19 mm
Distancia de retirada	4 mm
Profundidad de corte	0.2 mm
Velocidad de Avance en Desbaste	4 mm/s
Velocidad de corte en Desbaste	120 m/min
Velocidad de Avance en Acabado	1 mm/s
Revoluciones por minutos del Husillo	2000 RPM
Aceleración del sistema	20 mm/s <sup>2</sup>

En la Fig. 24 se presentan algunas medidas del perfil que fueron comprobadas una vez se mecanizó el peón. En la tabla 2 se comparan dichas medidas con las deseadas en el diseño original. Se puede observar como la precisión del torno se mantiene en el orden de 0.1 mm y presenta un error máxima del 2%.

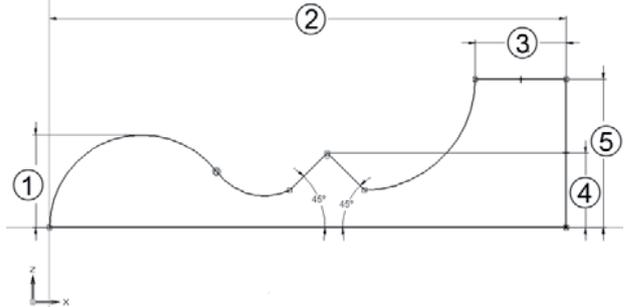


Figura 24. Plano del peón con algunas cotas fácilmente medibles con un calibrador o pie de rey.

Tabla 2. Comparativa entre las dimensiones deseadas de la pieza y las obtenidas luego del maquinado.

COTA	DIMENSION DESEADA (mm)	DIMENSION OBTENIDA (mm)	ERROR (mm)	ERROR (%)
1	5.00	5.10	0.10	-2.00
2	27.92	28.00	0.08	-0.28
3	4.92	5.00	0.08	-1.62
4	4.00	3.95	0.05	1.25
5	8.00	8.07	0.07	-0.87

El tiempo total de maquinado del peón fue de 3 minutos con 46 segundos. La tabla 3 muestra los tiempos de cada una de las diferentes fases del proceso de mecanizado.

Tabla 3. Tiempos de mecanizado.

Proceso	Tiempo (minutos)
Desbaste + focalización	3.33
Acabado (un solo paso)	0.45
TOTAL Tiempo de mecanizado	3.78

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El tiempo de mecanizado dependió mucho de las limitaciones propias del sistema, de los parámetros de mecanizado permitidos por la rigidez de la estructura del mini torno y de la herramienta utilizada.

Con respecto a la precisión del sistema, es de aclarar que fuera de los errores inducidos por los sistemas mecánicos uno de los problemas principales que afectaban en gran medida la precisión de la maquina es que, de acuerdo al diseño del sistema, el usuario debe ingresar el diámetro del cilindro base y ubicar manualmente el cero de la pieza haciendo un ligero roce con la superficie del cilindro base. Debido a esto, el maquinado no se ejecuta desde el radio de la pieza medido e ingresado, sino desde una longitud igual al radio original menos la distancia que se penetra en el roce. A pesar de ser una distancia muy pequeña, sumada con los errores propios del sistema mecánico, da como resultado errores dimensionales considerables y que pueden ser muy significativos en la mayoría de las ocasiones.

Por otra parte, un problema que se presenta durante el mecanizado es que la velocidad del husillo varía cuando es frenado por la fricción generada entre la herramienta y la pieza de trabajo durante el corte. Esto se debe a que el motor del mandril no cuenta con un control que asegure una velocidad constante independiente de la fuerza y el torque requerido para efectuar el corte.

## 7. CONCLUSIÓN

El sistema que se detalla en el artículo, está fundamentalmente ligado al bloque "CONTROL MOTORES" para el cual se optimizó el sistema de control, mediante un microcontrolador pre-programado para control de Servomotores, se acondicionó motores DC y se mejoró el sistema de potencia, se dotó con sensores de control y protección, con lo cual se mejoraron la prestaciones del CNC. Por último, se desarrolló un protocolo de comunicación (RS485), que permite comunicar el PC, con el sistema de control. Los resultados y experiencias adquiridas en el desarrollo de esta etapa del proyecto, posibilitaron mejorar la primera versión del sistema y facilitan aún más el desarrollo de futuras aplicaciones adaptadas a tornos convencionales. Haciendo una comparación entre el sistema desarrollado en el 2005 y el nuevo sistema, es mucho más rápido, más preciso, ofrece un mejor acabado superficial y además redujo los tiempos de mecanizado alrededor de un 77%.

## 8. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es un resultado del proyecto MCO7-1-03. Los autores agradecen a la Universidad de Antioquia, a su Comité para el desarrollo de la investigación CODI. Al Profesor Orlando Carrillo Perilla, que con su apoyo y sugerencias enriqueció el desarrollo del proyecto.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Londoño, N; Simanca, P.; Alvarez, J.; Marín, E. "Diseño y construcción de un torno de control Numérico". *Scientia et Technica* Año XI, No 29, Diciembre de 2005. UTP. ISSN 0122-1701.
- [2] Haci Saglam, Suleyman Yaldiz y Faruk Unsacar. "The effect of tool geometry and cutting speed on main cutting force and tool tip temperature". *Science Direct: Materials and Design* 28 (2007) 101-111.
- [3] M. Mori, H. Mizuguchi, M. Fujishima, Y. Ido, N. Mingkai, K. Konishi. "Design optimization and development of CNC lathe headstock to minimize thermal deformation". *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 58 (2009) 331-334.
- [4] Joze Balic, Miha Kovacic, Bostjan Vaupotic. "Intelligent programming of CNC turning operations using Genetic Algorithm". *J Intell Manuf* (2006) 17:331-340. Received: September 2004 / Accepted: September 2005. © Springer Science+Business Media, LLC 2006.
- [5] Joze Daniel Hanafi and Jayantha Katupitiya. "Very Low Compliance Force Control On a CNC Lathe machine". *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Orlando, Florida - May 2006.
- [6] Joze Won Tae Kwon, Ik Jun Hong. "Stimulation of the cutting torque without a speed sensor during CNC Turning". *Journal of Mechanical Science and Technology (KSME Int J)* Vol. 19, No 12, pp. 2205-2212, 2005.
- [7] J. Jesús de Santiago-Pérez, Roque Alfredo Osornio-Rios, René de Jesús Romero-Troncoso, Gilberto Herrera-Ruiz, Manuel Delgado-Rosas. "DSP algorithm for the extraction of dynamics parameters in CNC machine tool servomechanisms from an optical incremental encoder". *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 48 (2008) 1318-1334
- [8] A. Martínez-Álvarez, J. L. Sánchez-Romero, S. Cuenca-Asensi, A. Jimeno-Morenilla. "Hardware implementation of a STEP-NC enabled CNC for

turning lathe machining". 978-1-4244-4649-0/09/\$25.00 ©2009 IEEE

[9] Jingchuan Dong, Xingzhao Yang, Qingjian Liu, Zijing Wang and Taiyong Wang. "Design and Implementation of CNC Controllers using Reconfigurable Hardware". 2009 IEEE International Conference on Control and Automation. Christchurch, New Zealand, December 9-11, 2009.

[10] Vctor M Vctor M. Monroy, Juan de Dios Calderón, and José C. MirandaV. "Taking the Lab into the Classroom Using Mobile Technology to Monitor and Receive Data from CNC machines". Journal of Manufacturing Systems Vol. 24/No. 3 2005.

[11] Tian-Syung Lan & Kuei-Shu Hsu. "The implementation of optimum MRR on digital PC-based lathe system". Int J Adv Manuf Technol (2007) 35:248–254. Received: 28 March 2006 / Accepted: 14 July 2006 / Published online: 24 October 2006. Springer-Verlag London Limited 2006

[12] F. Ferraz Jr y R.T. Coelho. "Data acquisition and monitoring in machine tools with CNC of open architecture using internet". Int J Adv Manuf Technol (2005) 26: 90–97. Received: 16 June 2003 / Accepted: 30 September 2003 / Published online: 20 February 2004. Springer-Verlag London Limited 2004

[13] Abdullah Duran y Muammer Nalbant. "Finite element analysis of bending occurring while cutting with high speed steel lathe cutting tools". Materials and Design 26 (2005) 549–554.

[14] Ruey-Jing Lian, Bai-Fu Lin y Jyun-Han Huan. "Self-organizing fuzzy control of constant cutting force in turning". Int J Adv Manuf Technol (2005) 29:436-445. Received: 13 October 2004 / Accepted: 3 January 2005 / Published online: 17 August 2005. Springer-Verlag London Limited 2005.

[15] V. E. Karpus and A. V. Kotlyar. "Multicutting Machining on Numerically Controlled Lathes". ISSN 1068-798X, Russian Engineering Research, 2007, Vol. 27, No. 12, pp. 884–887. © Allerton Press, Inc., 2007. Original Russian Text © V.E. Karpus, A.V. Kotlyar, 2007, published in Vestnik Mashinostroeniya, 2007, No. 12, pp. 59–62.

[16] V. I. Zhiganov. "Design and Implementation of CNC Controllers using Reconfigurable Hardware". ISSN 1068-798X, Russian Engineering Research, 2008, Vol. 28, No. 6, pp. 584–587. © Allerton Press, Inc., 2008. Original Russian Text © V.I. Zhiganov, 2008, published in Vestnik STIN, 2008, No. 3, pp. 2–5.

[17] A. A. Kobzev and L. K. Generalov. "Automatic Control of Turning". ISSN 1068-798X, Russian

Engineering Research, 2009, Vol. 29, No. 2, pp. 214–216. © Allerton Press, Inc., 2009. Original Russian Text © A.A. Kobzev, L.K. Generalov, 2008, published in STIN, 2008, No. 11, pp. 26–29.

[18] ZHAN Yiqing, ZUO Zhiyong, XIE Yun y WEI Wen. "Research and application of automation technology in renovation for old import machine tool". International Technology and Innovation Conference 2007. Wuhan Baode Electromechanical Company Limited, China. IEEE.

[19] L.N. López de Lacalle y A. Lamikiz, "Machine Tool for high performance machining". 2009, Springer.

[20] Jeffrey Kerr, "PIC-SERVO SC Datasheet". Pic.Servomotor control. [www.Jrkerr.com](http://www.Jrkerr.com). [Consultado en marzo de 2010].

[21] Godfrey C. Onwubolu. "Mechatronics: Principles and Applications". The University of the South Pacific, Fiji. Elsevier, 2005.

[22] Paul E. Sandin, "Robot Mechanisms and Mechanical Devices". 2003, McGraw-Hill.

[23] Khanna, Vinod Kummer, The Insulated gate bipolar transistor (IGBT): theory and desing. United States: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2003

[24] R. Zehringer, S. Dewar, Petri Schroderus, "Módulo IGBT 'six-pack', dispositivo estándar para una nueva era", Revista Técnica ABB, Vol. 3, 2000, pp. 57-58.

[25] S. Linder, "Semiconductores de potencia. En el corazón de una revolución silenciosa", Revista Técnica ABB, Vol. 4, 2003, pp. 27-3

[26] National Rectifier, "irgb4061dpbf: Insulated Gate Bipolar Transistor with Ultrafast Soft Recovery Diode".

[27] M. Soltero, J. Zhang, C. Cockrill, "422 and 485 Standards Overview and System Configurations", Texas Instruments Application Report, Junio, 2002.

[28] Chevalier A. y Bohan J.. "Tecnología del diseño y fabricación de piezas metálicas". Editorial Limusa S.A. DE C.V. Grupo Noriega Editores Balderas 95, México D.F. 1998.