

# Descripción del diseño y construcción de un torno de control numérico

Nelson Londoño Ospina<sup>1</sup>, Pedro León Simanca<sup>2</sup>,  
Jairo Álvarez Díaz<sup>3</sup> y Edwin Marín Zapata<sup>4</sup>

*Recepción: 10 de junio de 2004 — Aceptación: 21 de agosto de 2005*  
*Se aceptan comentarios y/o discusiones al artículo*

---

## Resumen

Se presenta la implementación y resultados de un sistema de control numérico diseñado y construido localmente. Se describe el sistema mecánico y se explican con detalle los sistemas electrónico y de software, implementados para fabricar piezas de ajedrez a partir de un dibujo realizado en cualquier software de diseño gráfico. Se describen los algoritmos básicos y conceptos de conversión a unidades de desplazamiento de los actuadores del sistema. Igualmente, se describe la interfaz gráfica que facilita la interrelación del usuario (diseñador) con el sistema CAD.

**Palabras claves:** CAD, CNC, interfaz hombre-máquina, torno, microcontrolador.

## Abstract

Here we present the implementation and results of a numerical control system locally built and the electronic system are explained. With further detail it is explored the software used to make chess pieces, based on drawings created with any graphic designs software. Additionally, we describe basic algorithms and concepts referring to the conversion displacement units of the system actuator, besides of the graphic interface that cases the inter-relation between the user (designer) and the CAD system.

**Key words:** CAD, CNC, interface man-machine, lathe, microcontroller.

---

## 1 Introducción

La diferencia entre un torno convencional y uno de Control Numérico Computarizado (CNC), está constituida fundamentalmente por sus sistemas de movimiento automático,

---

<sup>1</sup> Ingeniero electrónico, nlondono@udea.edu.co, profesor, Universidad de Antioquia

<sup>2</sup> Ingeniero mecánico, psimanca@udea.edu.co, profesor, Universidad de Antioquia

<sup>3</sup> Tecnólogo en Mecánica Industrial, Tecnólogo en Sistemas, jairoad07@yahoo.es, SENA, Tecnológico de Antioquia

<sup>4</sup> Ingeniero Instrumentación y Control, emarin@epm.net.co, Ingeniero de Servicios, POLCO S.A.

y sus sistemas electrónicos, que procesan y controlan los movimientos y su software [2], que permite la comunicación del usuario con el torno propiamente dicho. Este artículo describe los resultados obtenidos en el desarrollo de un proyecto en el cual se diseñó y construyó un sistema de control numérico, desde su concepción hasta su desarrollo e implementación, para construir piezas a partir de un esquema diseñado con cualquier herramienta de diseño mecánico. Se describen los aspectos electrónicos y de software, centrandó su atención en el desarrollo del sistema control de movimientos. Se presentan los diseños correspondientes y resultados obtenidos.

## 2 Esquema general

La arquitectura general del sistema se ilustra en la figura (1); se observan los diferentes elementos que conforman el CNC en lazo abierto. A continuación se describen cada uno ellos.

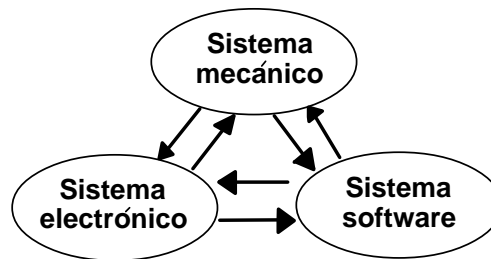
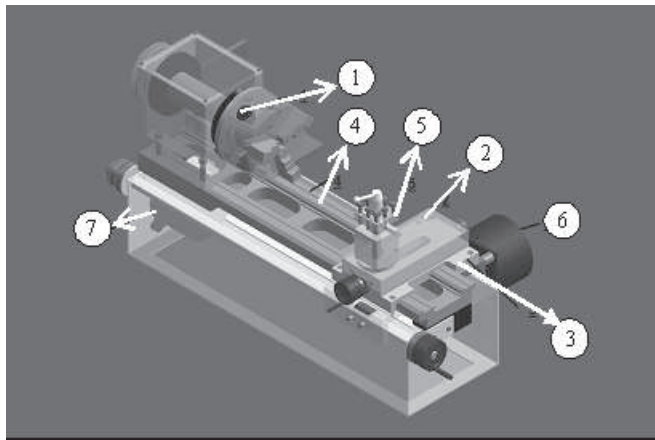


Figura 1: Sistema de control numérico

### 2.1 Sistema mecánico

En la figura (2), se muestra el sistema mecánico diseñado; se especifican los elementos que conforman el torno.

1. Copa o mandril (husillo). Diámetro de 4 pulgadas.
2. Carro transversal.
3. Carro longitudinal.
4. Bancada de 220 *mm* entre puntos.
5. Torre porta-herramientas.
6. Motor principal de imán: permanente de CC, 6000 *RPM*, 1/3 *HP*, 110VDC.



**Figura 2:** Diseño del sistema mecánico del CNC

7. Motores paso a paso: 200 *pasos/vuelta*; 3,6 A; 5V.

Movimientos longitudinal (dirección *Z*) hasta 100 *mm* y transversal (dirección *X*) hasta 200 *mm* del carro portador de la herramienta de corte.

La precisión del torno está ligada al tornillo del carro transversal y longitudinal, y permite 1,5 y 2,0 *mm* de desplazamiento por cada vuelta del tornillo respectivamente. Estos, acoplados a engranajes y a motores paso a paso (200 *pasos*), permiten un desplazamiento por cada paso del motor de 0,0075 *mm*.

Los ángulos de la herramienta de corte se modificaron (afilaron) más de lo recomendado [3], con el fin que siguieran todo el contorno de la pieza sin necesidad de cambiarla. Esto mejoró el maquinado, logró menor resistencia al corte y un mejor acabado en piezas de latón, bronce y aluminio [2].

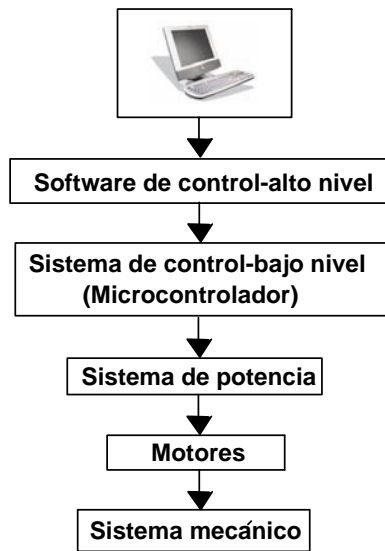
## 2.2 Sistema eléctrico y electrónico

Al igual que el sistema mecánico, el eléctrico y electrónico ha sido diseñado localmente y concebido para ser construido con materiales de fácil consecución en nuestro medio.

El sistema hardware de control y alimentación del CNC esta basado fundamentalmente en el control de movimiento de los motores y sus respectivos dispositivos de actuación y supervisión.

El esquema de la figura (3) ilustra el sistema implementado, en el cual se representan los elementos que lo conforman.

**2.2.1 Fuente de alimentación.** La alimentación de los sistemas de control y potencia se suministra mediante tres fuentes aisladas eléctricamente, así:



**Figura 3:** Sistema de control del CNC

- Una para suministrar los voltajes a los sistemas de control y transmisión de datos (5V y 12V), básicamente para el microcontrolador y el transmisor/receptor MAX232.
- Otra, genera 8V que polarizan los disparadores de los Mosfet. Encargados del control de velocidad del motor DC.
- Y una tercera, de 12V/5A para alimentar la etapa de potencia de los motores paso a paso.

**2.2.2 Interfaz PC sistema de control.** Corresponde al sistema que permite la comunicación del PC con el control numérico por medio de la interfaz RS-232 del puerto serial del PC y en forma asíncrona.

El circuito integrado MAX232, transmisor/receptor multicanal, es el encargado de la conversión de los niveles lógicos altos de la RS-232 a voltajes apropiados para el sistema de control y viceversa; la figura (4) ilustra este sistema.

**2.2.3 Sistema microcontrolador.** El diseño y análisis del sistema central de control, se basa fundamentalmente en el microcontrolador PIC-18F442 [6] que ofrece todas las posibilidades y versatilidad requeridas. El esquema general de control, se presenta en el diagrama de la figura (5) donde se detallan los puertos y líneas de control utilizadas en este dispositivo.

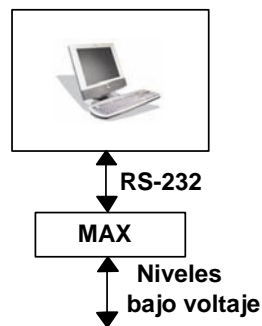


Figura 4: Comunicación PC-CNC vía RS-232

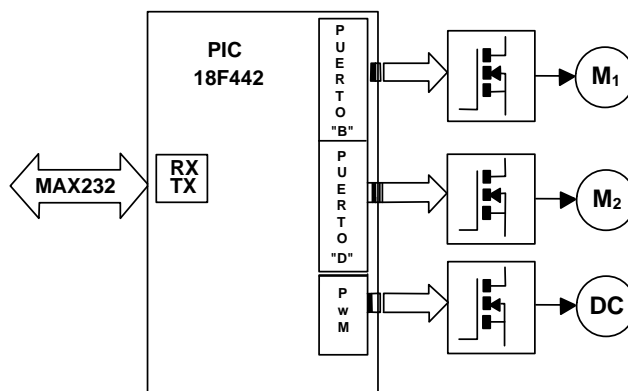


Figura 5: Sistema de control por microcontrolador

**2.2.4 Sistema de potencia.** El sistema de potencia toma la información del microcontrolador y la convierte en señales con el nivel de potencia requerido por los motores. Consta fundamentalmente de transistores Mosfet aislados del sistema de control mediante optoacopladores, como se ilustra en la figura (6).

**2.2.5 Sistema de protección.** El sistema de protección, el cual evita que los carros transversal y longitudinal sobrepasen sus límites físicos, se implementó mediante dos fines de carreras por cada grado de libertad. De esta forma, se garantizan la protección a dos niveles de prioridad, así:

- El primer microsuiche, por software, al activarse, envía una orden al sistema de control el cual ordena el paro automático de los motores.
- El segundo, por hardware, el cual en caso de presentarse problemas de software, actúa (colocado a pocos milímetros del primero) cortando completamente la alimentación general del sistema.

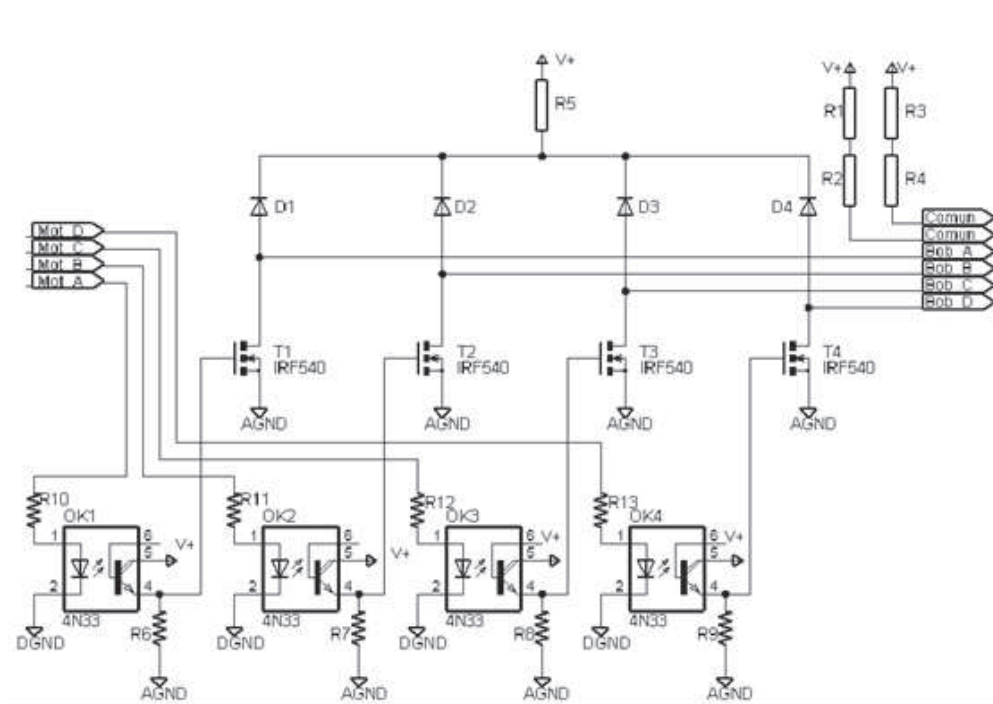


Figura 6: Sistema potencia motores paso a paso

**2.2.6 Control de movimientos.** Como se explicó anteriormente, el sistema de control de movimientos de cada uno de los motores está implementado con el microcontrolador PIC-18F442. Las características particulares del sistema de los ejes, permiten el movimiento sincronizado en el momento de maquinado de piezas, así:

- Para el motor principal, se envía una orden al microcontrolador, que define el set point del PWM, el encendido y el apagado.
- Para los motores paso a paso, las órdenes que llegan del PC al sistema de control de movimiento, son fundamentalmente valores de desplazamiento dadas en términos de pasos relativos a la posición actual del motor.

### 2.3 Sistema de software

El software diseñado, tiene como objetivo fundamental tomar la información suministrada por un programa de diseño gráfico, filtrarla y convertirla en órdenes de movimiento relativo, que se suministran al microcontrolador.

Se partió de las siguientes especificaciones:

- Que permita, a partir del diseño en un entorno gráfico, pasar al modo de ejecución automática sin necesidad de un paso intermedio de programación (a código G) [1].
- Que sea portable y versátil para el manejo de paquetes CAD.
- Que generara automáticamente los vectores de coordenadas para el desplazamiento sincronizado de los motores X-Z.
- Que pudiera suministrar dicha información al microcontrolador, vía puerto serial.
- Que permita monitorear el desarrollo de un proceso de maquinado en un ambiente gráfico con las siguientes características: versátil, fácil manejo y que permita control manual y automático.

Para este primer prototipo, se desarrolló un software en Visual Basic 6.0 [4], con el cual se lograron cumplir las características propuestas. A continuación se explican el desarrollo y componentes del software diseñados.

**2.3.1 Descripción de procedimiento de conversión gráfico a comandos de movimiento.** A continuación se da una breve descripción de los pasos que se requieren para tal efecto y del sistema software diseñado.

1. **Diseño de pieza mediante software CAD.** El primer paso es el diseño de la pieza requerida. Para ello se utiliza cualquier programa de diseño gráfico como Autocad, Solid Edge, Inventor, Solidworks, Corel Draw o cualquier otra herramienta que permita guardar el dibujo o perfil con formato \*.DXF.

En este caso, se diseñaron en Autocad [5] diferentes piezas de ajedrez; con lo cual se genera una gráfica del perfil mediante combinación de Arcos y Líneas (filtrado de la pieza original), suministrados en los atributos propios del archivo \*.DXF.

Este archivo contiene toda la información básica correspondiente a la pieza y suministra todas las coordenadas necesarias para que el software desarrollado las transforme o interpole como posiciones relativas del dibujado de la pieza, como se explicará mas adelante.

2. **Generación de vector de posiciones XY.** La información básica tomada del archivo \*.DXF, como se dijo anteriormente, es la correspondiente a las líneas y arcos del perfil de la pieza a construir, de esta información se extrae fundamentalmente:
  - Para las líneas, las coordenadas de punto inicial y punto final, y
  - Para los arcos, las coordenadas del centro del arco, el radio, ángulo inicial y ángulo final.

Entonces, el programa diseñado (en VB) abre el archivo \*.DXF, lo recorre secuencialmente, extrae las coordenadas correspondientes, las almacena en matrices dinámicas (X-Z) y cierra el archivo

- Cada sección del perfil (línea o arco) es dividida en  $N$  partes (que definen la resolución del corte), genera un conjunto de puntos que, a su vez contienen la información de coordenadas de cada subsección de Línea o Arco.
- Las coordenadas de cada punto generado se almacenan en una tercera matriz dinámica y, posteriormente se ordenan.
- Dado que la resolución mecánica por cada paso de los motores paso a paso es de 0,0075, se divide cada tramo de puntos consecutivos, obtenidos de la matriz anterior, con lo cual se obtienen los pasos que debe girar cada motor (X-Z), ésta será la orden enviada al microcontrolador.

3. **Protocolo de comunicación.** Los set point obtenidos en el paso anterior y cada orden ejecutada, son enviados al puerto serial del PC, mediante un protocolo de comunicación así:

- Un carácter de identificación.
- Un byte de comando que indica la función a ejecutar.
- Un byte que contiene el valor del set point.

Y espera confirmación para el envío de una nueva orden de movimiento.

4. **Interfaz gráfica.** Continuando con las especificaciones requeridas anteriormente, se diseñó, igualmente bajo Visual Basic, para el maquinado manual y automático de las piezas, una interfaz gráfica que permite ejecutar, visualizar y operar los diferentes movimientos del sistema. Dicha interfaz, figura (7) fue concebida para que sea amigable y fácil de operar.

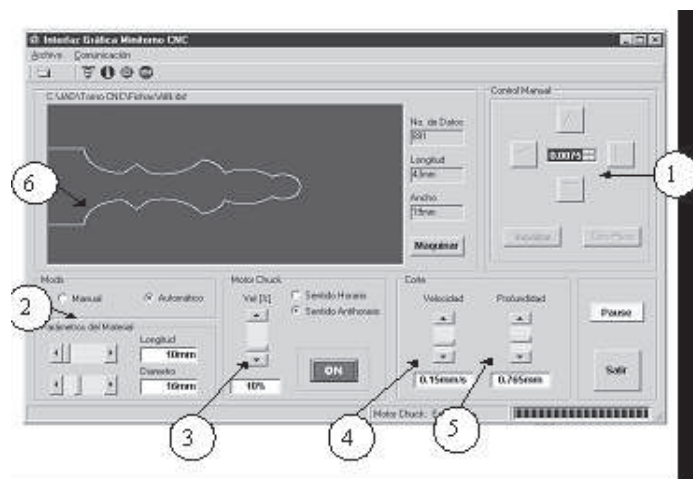


Figura 7: Interfaz gráfica del control numérico computarizado



La interfaz gráfica cumple con las especificaciones propuestas inicialmente de modo que posibilita parametrizar y operar el CNC.

Es importante resaltar que para el maquinado en el torno, se deben tener presentes tres parámetros, que son:

- La velocidad (3) del mandril o pieza para ser máquina (% de 0 – 6000rpm).
  - La velocidad (4) de desplazamiento de la herramienta o movimiento de los carros (*mm/seg*).
  - La profundidad (5) de corte o material que se desbasta (*mm*).
5. **Operación en modo manual.** Seleccionando en (2) el modo manual (opción por defecto), es posible desplazar los carros transversal y longitudinal, en los sentidos indicados. El valor numérico preseleccionado, ubicado en el centro de los botones, define los milímetros de desplazamiento por cada activación de los motores.
  6. **Operación en modo automático.** Seleccionando el modo automático (2) se puede abrir el dibujo, previamente diseñado en software CAD y que se desea realizar. Al iniciar el maquinado, la gráfica de la pieza, en la interfaz será redibujada (6) con lo que se podrá seguir el proceso del maquinado. Para iniciar el maquinado la herramienta se debe ubicar en el punto cero de la pieza (ver numeral (5)). Después de iniciado el proceso, la interfaz permite, mediante un botón de *Pause*, detenerlo y modificar cualquier parámetro deseado.
  7. **Definición de posición.** Las máquinas-herramientas CNC poseen un punto llamado *el cero de la máquina* [2] y es el punto donde las coordenadas *XYZ* equivalen al cero absoluto, normalmente determinado por microsuiches. También existe *el cero de la pieza* que corresponde al punto inicial del maquinado de la pieza. En el torno se conservan estas convenciones. Al iniciarse el maquinado automático, el programa preguntará si la herramienta se encuentra en la posición inicial de maquinado o el punto cero de la pieza. La herramienta debe ser ubicada en forma manual en dicha posición.

### 3 Resultados obtenidos

El resultado final de este trabajo fue el de diseñar las diferentes piezas del ajedrez en Autocad y construidas en el CNC.

El software desarrollado permitió, muy fácilmente enseñar a los estudiantes de primeros niveles de ingeniería a diseñar y construir las diferentes piezas de ajedrez que se utilizaron como prototipo. Lo cual cumple con el objetivo propuesto de facilidad y versatilidad.

Una característica adicional, digna de resaltar, es que fue posible obtener una pieza prediseñada sin necesidad de convertir los comandos a código *G*.

## 4 Limitaciones

Un inconveniente que puede presentar este diseño, es precisamente una de las ventajas que se presentan arriba, se trata de la no utilización del código  $G$  en el diseño del sistema CNC. Esto podría, en algún momento, limitar el sistema cuando se desee integrarlo a un sistema más complejo, como una celda de manufactura convencional.

Otra limitación que presentó el sistema diseñado, y que está en proceso de mejora, es que la velocidad de corte no es óptima, por lo cual la construcción de cada pieza puede ser optimizada con algoritmos más elaborados.

## 5 Conclusiones

Se diseñó y construyó un control numérico computarizado completo, desde su parte mecánica, pasando por el sistema electrónico, el software de conversión de dibujo en ambiente gráfico y el sistema de conversión y control de movimientos para obtener la pieza diseñada.

Los resultados obtenidos fueron altamente satisfactorios y se cumplieron los objetivos propuestos. Se resalta el hecho de que uno de los propósitos más importantes en este proyecto era el contar con un diseño propio y construido con elementos de fácil consecución en el mercado colombiano, al igual que la concepción, desarrollo e implementación del sistema de control y software que están soportados en programas de uso cotidiano en el ambiente universitario.

## 6 Trabajos futuros

Son muchos los trabajos y proyectos derivados de éste, pues en algunos casos se trata de mejorar u optimizar lo construido y en otros, de utilizar el sistema para aplicaciones académicas y didácticas. Por tanto, aparte de convertirse en una herramienta de aprendizaje para estudiantes de diferentes disciplinas, se resaltan los siguientes trabajos futuros:

### 1. En su utilización:

- Proponer otros prototipos de diseño de piezas y maquinaslas, utilizando el sistema construido.

### 2. En el sistema eléctrico y electrónico:

- Cambiar los motores paso a paso por motores DC, lo cual implica cambiar el sistema de control de potencia.
- Enriquecer el sistema con sensores que informen del estado real de la pieza, para corregir, automáticamente, posibles errores en el maquinado.

- Dotar al sistema de potencia de sensores de corriente, para garantizar un funcionamiento más acorde con las capacidades de los motores en el momento que se utilicen materiales que requieren condiciones variables de maquinado.

### 3. En el sistema software:

- Permitir la posibilidad de operar el sistema en un modo manual alternativo, esto es controlar el desplazamiento de los carros mediante una tecla o un *joystick*.
- Hacer una simulación 3D del maquinado, para mejorar la interfaz gráfica (esto podría ir ligado a la mejora del sistema sensorial).
- Aplicar las experiencias adquiridas para convertir tornos convencionales en sistemas de control numérico.
- Dotar al sistema de la posibilidad de ubicarse automáticamente en el punto cero deseado (de la pieza o del sistema). Para ello, igualmente es esencial dotar de mayor capacidad sensorial al sistema.
- Optimizar los algoritmos de desplazamiento de los motores para mejorar los tiempos de maquinado y las versatilidad de las herramientas.

## Referencias

- [1] Chiles, Black, Lissaman, Martín. *Principios de ingeniería de manufactura*, México: Ed. CEC-SA. Edición 1ª, 1999.
- [2] Mikell P. Groover. *Fundamentos de manufactura moderna, materiales, procesos y sistemas*, México: Ed. Prentice Hall, 1997.
- [3] *Metal Handbook*, ninth edition vol. XVI, Machining 1989 States of America.
- [4] *Microsoft Visual Basic. Manual del Programador*, Versión 6, 1991-1997.
- [5] *Autodesk*, <http://www.autodesk.com/techpubs/autocad/dxf>, marzo de 2004.
- [6] *Microchip*, <http://www.microchip.com>, marzo de 2004.