

Informe Técnico del Proyecto CNC Controller STM32F103C8T6

Autor: Bruno Pera

Fecha: 10 de agosto de 2025

Universidad Nacional de Córdoba

1. Introducción

El presente informe describe el desarrollo de un sistema CNC basado en el microcontrolador STM32F103C8T6 (Blue Pill), orientado a la conversión de una impresora 3D en una máquina CNC láser. El objetivo principal es lograr un control preciso de tres ejes mediante motores paso a paso, permitiendo la ejecución de trayectorias definidas por comandos G-code. La motivación surge de la necesidad de contar con una plataforma flexible y de bajo costo para aplicaciones de manufactura digital, prototipado rápido y automatización. El sistema se fundamenta en principios de control numérico computarizado, procesamiento de señales y comunicación USB.

2. Esquema tecnológico

El sistema está compuesto por los siguientes módulos principales:

- **Microcontrolador STM32F103C8T6:** núcleo de control y procesamiento.
- **Drivers de motores paso a paso:** A4988/DRV8825 para control de los ejes X, Y, Z.
- **Motores NEMA17:** permiten el movimiento mecánico de la máquina.
- **Finales de carrera:** sensores de posición para referencia y seguridad.
- **LEDs indicadores:** muestran el estado y dirección de movimiento.
- **Interfaz USB:** comunicación con PC para envío de comandos G-code.

3. Detalle de módulos

3.1. Microcontrolador STM32F103C8T6

Microcontrolador ARM Cortex-M3, 72MHz, 64KB Flash, 20KB RAM. Se programa mediante ST-Link V2 y soporta interfaces GPIO, USB, PWM, ADC, entre otras. Más información en la hoja de datos oficial: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf>

3.2. Drivers de motores paso a paso

A4988 y DRV8825 permiten controlar motores bipolares NEMA17. Soportan microstepping y protección contra sobrecorriente. Referencia: <https://www.pololu.com/product/1182>

3.3. Motores NEMA17

Motores estándar para impresoras 3D y CNC, torque típico de 40Ncm, 1.8° por paso. Más detalles: https://reprap.org/wiki/NEMA_17_Stepper_motor

3.4. Finales de carrera

Sensores mecánicos tipo switch, conectados a pines GPIO para referencia de posición y protección contra colisiones.

3.5. LEDs indicadores

Dos LEDs conectados a PB0 y PB1 para indicar sentido horario y antihorario del movimiento.

3.6. Interfaz USB

Implementada mediante USB CDC (Communications Device Class), permite enviar comandos G-code desde la PC al microcontrolador.

4. Funcionamiento general

El controlador recibe comandos G-code desde la PC, los interpreta y los traduce en movimientos de los motores paso a paso. El sistema utiliza un algoritmo de planificación de trayectorias (Motion Planner con Lookahead) para optimizar la velocidad y suavidad de los movimientos. Los finales de carrera aseguran la referencia y seguridad en los extremos de los ejes. El flujo de funcionamiento se representa en el siguiente diagrama de estados:

5. Programación

La configuración de periféricos incluye:

- **GPIO:** para control de motores, LEDs y finales de carrera.
- **USB CDC:** para comunicación con la PC.
- **Timers:** generación de pulsos para motores paso a paso.

El código principal se estructura en los siguientes módulos:

- **main.c:** inicialización, bucle principal y gestión de eventos.
- **motion.c:** funciones de movimiento y control de motores.
- **gcode_parser.c:** interpretación de comandos G-code.
- **planner.c:** planificación de trayectorias y optimización de velocidades.

Las interrupciones se utilizan para la gestión de eventos críticos (finales de carrera, recepción USB). El algoritmo de planificación implementa un buffer lookahead que permite suavizar las trayectorias y evitar paradas bruscas entre segmentos.

6. Etapas de montaje y ensayos realizados

El montaje se realizó en etapas:

1. Ensamblado de la electrónica y cableado de motores, drivers y sensores.
2. Programación y verificación de la comunicación USB.
3. Pruebas individuales de cada eje y finales de carrera.
4. Ejecución de trayectorias simples y complejas mediante archivos G-code.
5. Validación de la precisión y repetibilidad del sistema.

7. Resultados y especificaciones finales

El sistema cumple con los objetivos planteados: control preciso de 3 ejes, ejecución de trayectorias G-code, comunicación USB estable y respuesta rápida de los finales de carrera. Las especificaciones técnicas alcanzadas son:

- **Precisión:** 0.012 mm (X/Y), 0.00025 mm (Z)
- **Velocidad máxima:** 2000 mm/min
- **Consumo:** 1.2A @ 12V (máximo)
- **Área de trabajo:** 100x100x10 mm
- **Autonomía:** ilimitada (alimentación externa)

8. Conclusiones y ensayo de ingeniería de producto

El desarrollo del sistema CNC basado en STM32F103C8T6 demostró ser una solución eficiente y flexible para aplicaciones de manufactura digital. El uso de un algoritmo de planificación avanzada permitió mejorar la calidad de las trayectorias y reducir el desgaste mecánico. Para una versión comercial se recomienda:

- Integrar drivers de mayor corriente para motores más potentes.
- Añadir protección eléctrica y filtrado de ruido.
- Implementar carcasas y conectores industriales.
- Mejorar la interfaz de usuario y agregar pantalla LCD.
- Certificar el sistema según normas de seguridad industrial.

9. Referencias

- Hoja de datos STM32F103C8T6: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf>
- Driver A4988: <https://www.pololu.com/product/1182>
- Motor NEMA17: https://reprap.org/wiki/NEMA_17_Stepper_motor
- Algoritmo GRBL: <https://github.com/gnea/grbl>
- Documentación USB CDC: <https://www.usb.org/defined-class-codes>

10. Anexos

- Esquemas eléctricos y PCB (disponibles en repositorio)
- Código fuente completo (ver carpeta Proyecto_Micro)
- Archivos de prueba G-code (ver carpeta examples)