



FACULTAD DE INGENIERIA

Universidad de Buenos Aires

MAESTRÍA EN SISTEMAS EMBEBIDOS

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

Lectura de fiduciales para máquina CNC

Autor:
Esp. Ing. Pablo Slavkin

Director:
MEE. Ing. Norberto M. Lerendegui (IEEE)

Jurados:
Ing. Ariel Hernandez
Mg. Ing. Lucio Martinez (CNEA)
Dr. Daniel Minsky (CNEA/CONICET)

*Este trabajo fue realizado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires,
entre marzo de 2020 y diciembre de 2020.*

Resumen

En el presente trabajo se presenta el desarrollo de un dispositivo electrónico capaz de dotar de visión artificial a una máquina de mecanizado por control numérico CNC de la fábrica española Wolfcut para permitir el alineamiento automático de mecanizados 2D mediante la lectura de marcas fiduciales. Utilizando Linux sobre la plataforma Beagleboard, se desarrollaron los drivers del kernel en C para interactuar con un controlador de movimientos Weihong NK105, se implementó una interfaz de control web con HTML, Javascript y Python, se habilitó la carga de archivos USB remota mediante la tecnología configFS, y se realizó el procesamiento de video desde una cámara WIFI mediante la biblioteca PythonCV.

Agradecimientos

A Juli, Valen, Maxi y León

Índice general

Resumen	I
1. Introducción general	1
1.1. Mecanizados 2D	1
1.2. Soluciones de mercado	3
1.3. Motivacion y alcance	4
2. Introducción específica	5
2.1. Historia y principio de funcionamiento	5
2.1.1. Programa	6
2.1.2. Controlador	7
2.1.3. Maquina	8
2.1.4. Tecnologias utilizadas	10
2.1.5. Desarrollo de drivers para Linux	10
2.1.6. Plataforma pocketBeagle	10
2.1.7. Aplicacion web	10
2.1.8. HTML, JavaScript, CSS	11
2.1.9. Python	11
2.1.10. socketIO, asyncio	11
2.1.11. OpenCV	11
3. Diseño e implementación	13
3.1. Intervencion al NK105	13
3.2. Envio de arvhivos por USB	13
4. Ensayos y Resultados	15
4.1. Pruebas funcionales del hardware	15
4.1.1. Validación de tramas SPI	15
4.1.2. Validación de tramas UART	15
4.1.3. Precisión de centro y ángulo de las marcas	15
4.2. Pruebas funcionales del software	15
4.2.1. Ensayos con diferentes cámaras y resoluciones de video	15
4.2.2. Validación del error de rotación del GCode	15
4.2.3. Validación del error de alineación	15
4.2.4. Ensayo general de caja negra con diferentes archivos de mecanizado	15
5. Conclusiones	17
5.1. Conclusiones generales	17
5.2. Próximos pasos	17
Bibliografía	19

Índice de figuras

1.1. Ejemplos de piezas mecanizadas mediante maquinas CNC. a) Corte de letras en madera para carteleria. b) Placa de circuito impreso mecanizado. c) Pieza de aluminio para una maquina.	1
1.2. Esquema de corte de una letra en una placa de material virgen. a) Placa a cortar fijada a la mesa de corte y fresa de corte en posicion. b) pieza cortada	2
1.3. Esquema de corte de una letra en una placa de material previamente impreso al cual se le desea cortar la silueta. a) Placa a cortar fijada a la mesa de corte y fresa de corte en posicion. b) pieza cortada con una notable desalineacion entre la silueta previamente impresa y el corte del material	2
1.4. Controlador NK105 de la firma Weihong elegido para extender sus funciones y dotarlo de lectura de marcas	4
2.1. Jhon Parsons junto a una de sus maquinas, considerado el inventor de la maquina de control numerico NC.	5
2.2. Los tres componenentes basicos de una maquina CNC.	6
2.3. Secuencia de pasos para operar una maquina CNC primigenia. A) Ingeniero escribiendo en papel la lista de operaciones para mecanizar una pieza en lenguaje GCode. B) Operadora transcribiendo la lista de operaciones a una cinta plastica perforada C) Lector de cinta multiperforada que controla los movimientos de la maquina.	6
2.4. Secuencia de pasos para operar una maquina CNC moderna. A) Se diseña la pieza en el CAD. C) Se simula el proceso de corte en el CAM. C) Se exporta desde el CAM un archivo en lenguaje GCode con las instrucciones de maquina que leerá el controlador.	7
2.5. La etapa de control se suele separar en dos: controlador logico y driver de potencia	8
2.6. Esquema de una maquina de 3 ejes perpendiculares como las que se analizan en esta memoria.	8
2.7. Maquinas CNC fabricadas por la empresa Wolfcut. A) Fresadora de 3 ejes para corte y mecanizado de madera, plasticos, carton, aluminio, etc. B) Maquina de 2 ejes de corte por cuchilla para carton, papel, calcos, etc. C) Maquina de 3 ejes para corte y grabado laser de materiales plasticos, madera, carton, papel, etc.	11
2.8. Diagrama de bloques del sistema implementado para con el objeto de identificar las tecnologias involucradas en cada bloque.	11
2.9. Aplicacion web desarrollada para controlar la maquina, transferir archivos, gestionar la detección de marcas, visualizar el trabajo a cortar en tiempo real, entre otras utilidades de configuracion.	12

3.1. Mando a distancia del controlador NK105 a) Comunicacion por UART del estado de la botonera b) Envio de datos del controlador al LCD por SPI	14
--	----

Índice de tablas

1.1. Sistemas de alineacion automativos	3
2.1. Modelos de controladores	9
2.2. Modelos de drivers	10

Dedicado a Fernando Sanchezzzzz...

Capítulo 1

Introducción general

En el presente capitulo se introducen ejemplos de uso de las maquinas CNC y la problematica de la alineacion. Luego se enumeran algunas soluciones disponibles en el mercado y finalmente la motivacion, alcance y objetivos de la propia.

1.1. Mecanizados 2D

En la actualidad, muchos de los procesos industriales que involucran el mecanizado de piezas como las que se muestran en la figura 1.1, se realizan utilizando maquinas de control numerico computarizado CNC.

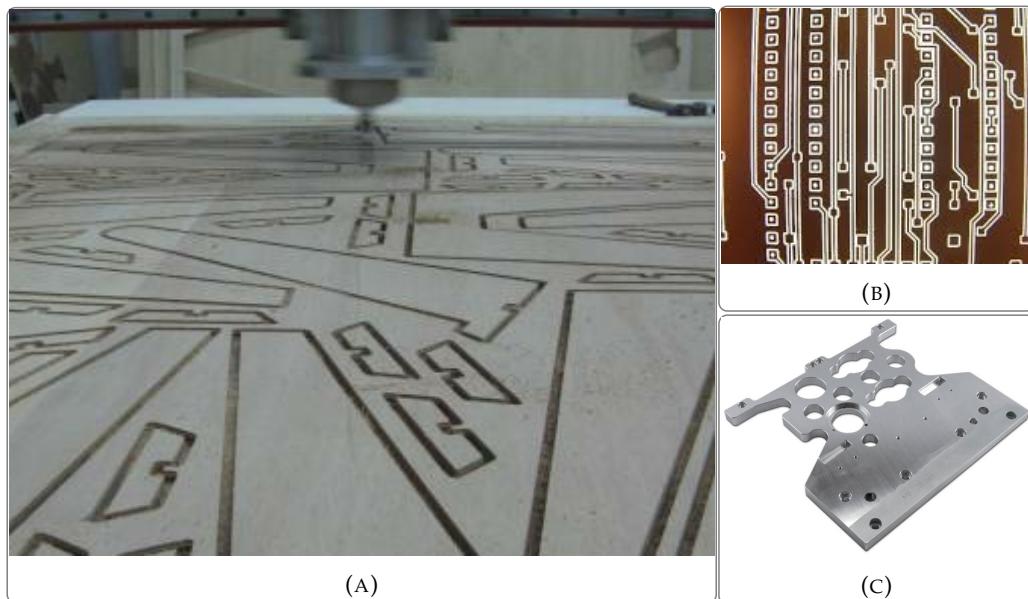


FIGURA 1.1. Ejemplos de piezas mecanizadas mediante maquinas CNC. a) Corte de letras en madera para carteleria. b) Placa de circuito impreso mecanizado. c) Pieza de aluminio para una maquina.

Un proceso industrial tipico para el corte de estas piezas, se esquematiza en la figura 1.2 y en resumen consiste en los siguientes pasos:

1. Posicionar la placa del material a cortar en la mesa de corte
2. Posicionar la herramienta de corte en un punto de referencia de la plancha
3. Cargar el archivo que contiene la informacion de corte.

4. Cortar.

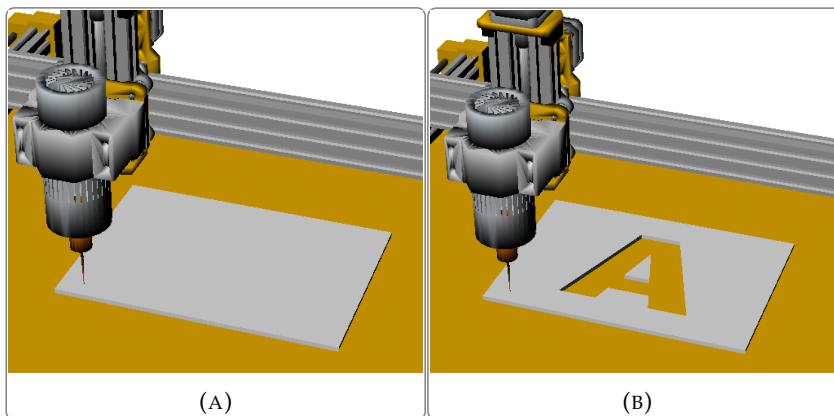


FIGURA 1.2. Esquema de corte de una letra en una placa de material virgen. a) Placa a cortar fijada a la mesa de corte y fresa de corte en posicion. b) pieza cortada

Sin embargo hay casos en los cuales la placa a cortar esta impresa y el proceso de corte debe respetar su silueta con exactitud como se esquematiza en la figura 1.3. Dado que no se aplico ninguna corrección ni alineamiento entre el sistema de movimientos de la maquina y la pieza, el resultado no es el esperado.

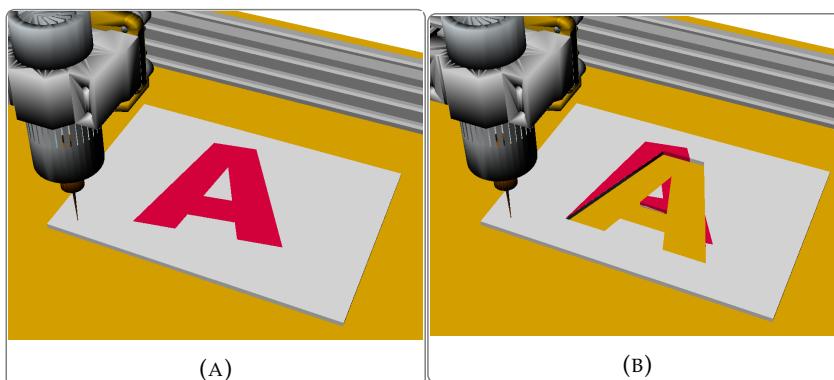


FIGURA 1.3. Esquema de corte de una letra en una placa de material previamente impreso al cual se le desea cortar la silueta. a) Placa a cortar fijada a la mesa de corte y fresa de corte en posicion. b) pieza cortada con una notable desalineacion entre la silueta previamente impresa y el corte del material

Este problema no solo aparece en este tipo de cortes, hay otros casos similares como los siguientes:

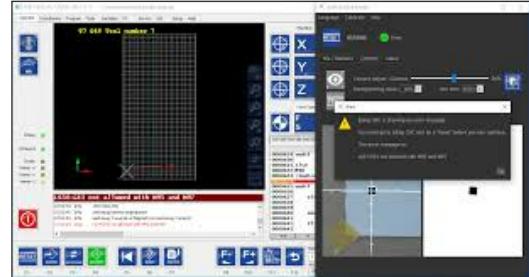
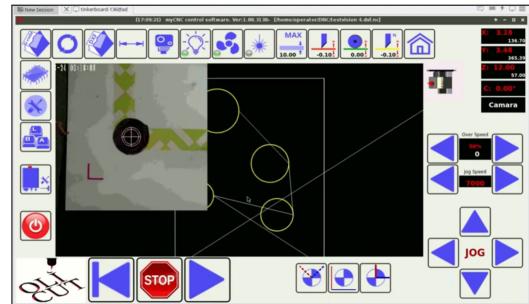
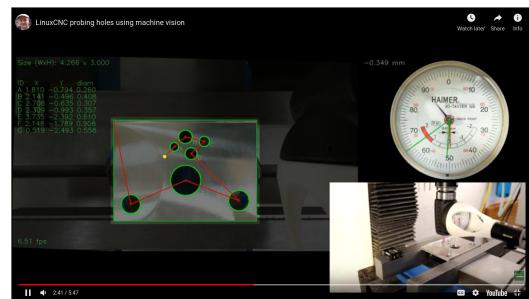
- Alineacion de placas de circuito impreso de 2 caras
- Alineacion de una pieza que requiere un retoque
- Alineacion luego de un corte de energia
- Correccion por errores de escala entre diferentes maquinas
- Correccion ante escalado por variacion de temperatura
- Correccion por deformacion para piezas con elasticidad

El presente trabajo aplican tecnicas de vision artificial para reconocer puntos de referencia, fiduciales, expresamente impresos junto con la silueta a recortar y de esta manera corregir el desplazamiento, el angulo y la escala del archivo original y mantener un error de alineacion acotado sin la necesidad de tecnicas de escuadrado o medicion manuales.

1.2. Soluciones de mercado

En la tabla 1.1 se muestran desarrollos de software que permiten extenderse o adaptarse para el reconocimiento de marcas. Sin embargo no se han encontrado soluciones embebidas, sin uso de PC, o accesorios para controladores embebidos con esta caracteristica.

TABLA 1.1. Algunos modelos y marcas de sistemas de alineacion automatica disponibles en mercado

Caracteristicas	Imagen
EddingCNC: Software basado en PC sobre Windows al cual varios fabricantes (GES, Wolfcut OPOS, etc) lo han extendido para soportar reconocimiento de marcas	
myCNC: Ofrece un sistema de vision artificial y reconocimiento de marcas basado en una PC industrial y camaras USB.	
linuxCNC: Es un software de control que opera sobre Linux al cual se le hab hecho algunas intervenciones no documentadas para el reconocimiento de marcas	

1.3. Motivacion y alcance

La principal motivacion de este trabajo es lograr extender las capacidades de un controlador embebido de uso profesional y dotarlo de vision artificial para el reconocimiento de marcas.

Con los argumentos y la experiencia en el mercado de maquinas CNC de la empresa Wolfcut, se determino que uno de los controladores de uso profesional mas popular del mercado es el NK105 que se muestra en la figura 1.4.



FIGURA 1.4. Controlador NK105 de la firma Weihong elegido para extender sus funciones y dotarlo de lectura de marcas

Este controlador solo cuenta con un comando remoto para todas las operaciones de manejo y configuracion y tampoco cuenta con una API definida por el fabricante para poder conectarse y extender sus funciones.

Sin embargo al estar basado internamente en FPGA, es reconocido por sus excelentes resultados de corte, su estabilidad en trabajos extensos y al no requerir de una PC o software externo para operar maximiza su availabilidad.

El alcance de este trabajo se limita a intervenir y dotar de lectura de marcas al controlador NK105 y obtener resultados comparables con otras soluciones de mercado.

Capítulo 2

Introducción específica

En el presente capitulo se expone una breve resena historica de las maquinas CNC, su principio de funcionamiento y su uso en la industria. Luego se introducen las tecnologias mas relevantes involucradas en el desarrollo de este trabajo.

2.1. Historia y principio de funcionamiento

Hacia finales de la decada del '40, el mecanico inventor Jhon Parson¹ retratado en la figura 2.1, logro motorizar una agujereadora de banco de precision y automatizarla con el uso de una cinta perforada. A este invento se lo considera la primera maquina de control numerico o NC por sus siglas en ingles (*numerical control*).

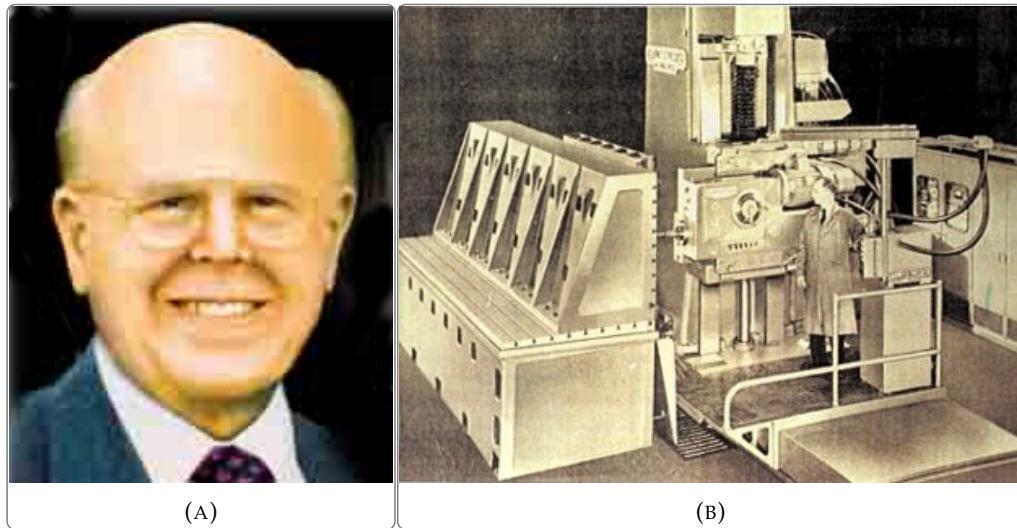


FIGURA 2.1. Jhon Parsons junto a una de sus maquinas, considerado el inventor de la maquina de control numerico NC.

Luego de varias decadas, con el advenimiento de la computadoras, se reemplazaron las cintas perforadas por programas de computadoras, dando lugar a las maquinas de control numerico computarizado o CNC por sus signas en ingles (*computer numerical control*).

A pesar del paso del tiempo y los avances tecnologicos, las partes principales de una maquina CNC siguen siendo las mismas que se describen en la figura 2.2.

¹https://en.wikipedia.org/wiki/John_T._Parsons



FIGURA 2.2. Los tres componenentes basicos de una maquina CNC.

2.1.1. Programa

El programa consiste en una serie de instrucciones necesarias para obtener una determinada pieza y se escribe en un lenguaje conocido como GCode[1]. Este lenguaje fue creado por el Instituto tecnológico de Massachusetts en la década del 50 y especificado en el documento NIST-RS274-D [2]. Originalmente los ingenieros de mecanizado lo escribían manualmente en una planilla y luego, mediante una máquina de mecanografía, se transcribía a una cinta perforada que sería luego interpretada por el controlador de movimientos. Se pueden ver algunas fotos de este primigenio proceso en la figura 2.3

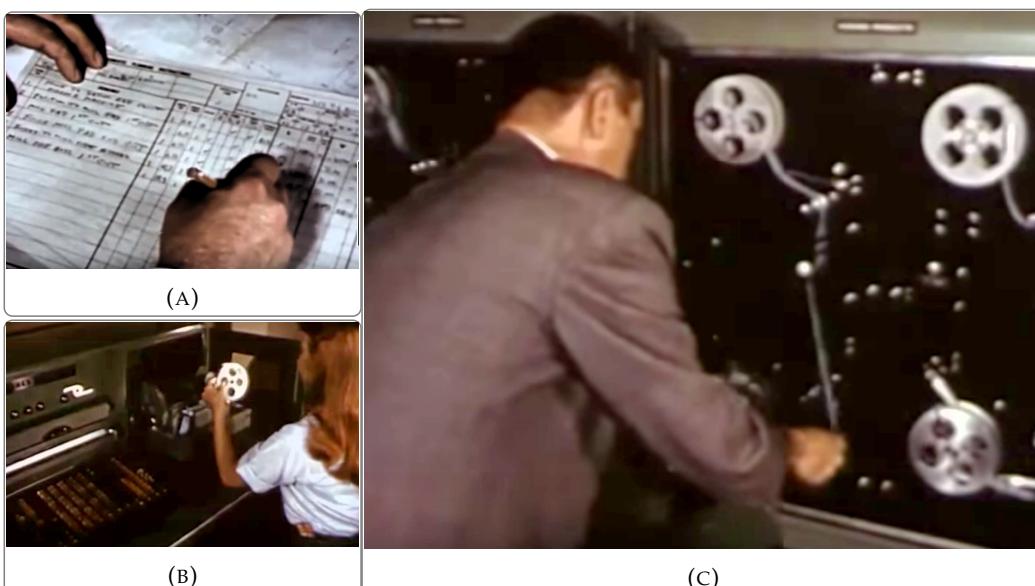


FIGURA 2.3. Secuencia de pasos para operar una maquina CNC primigenia. A) Ingeniero escribiendo en papel la lista de operaciones para mecanizar una pieza en lenguaje GCode. B) Operadora transcribiendo la lista de operaciones a una cinta plastica perforada. C) Lector de cinta multiperforada que controla los movimientos de la maquina.

En el presente se diseña la pieza en 3D con la ayuda de programas de diseño asistido por computadora CAD por sus siglas en inglés (computer aided design), luego se procesa el modelo con un programa de manufactura asistida por computadora CAM por sus siglas en inglés (computer aided manufacturing) y el resultado es un archivo de texto en lenguaje GCode que se almacena digitalmente y que será luego procesado por el controlador.

Esta secuencia es conocida como diseño CAD/CAM y se muestra en la figura 2.4

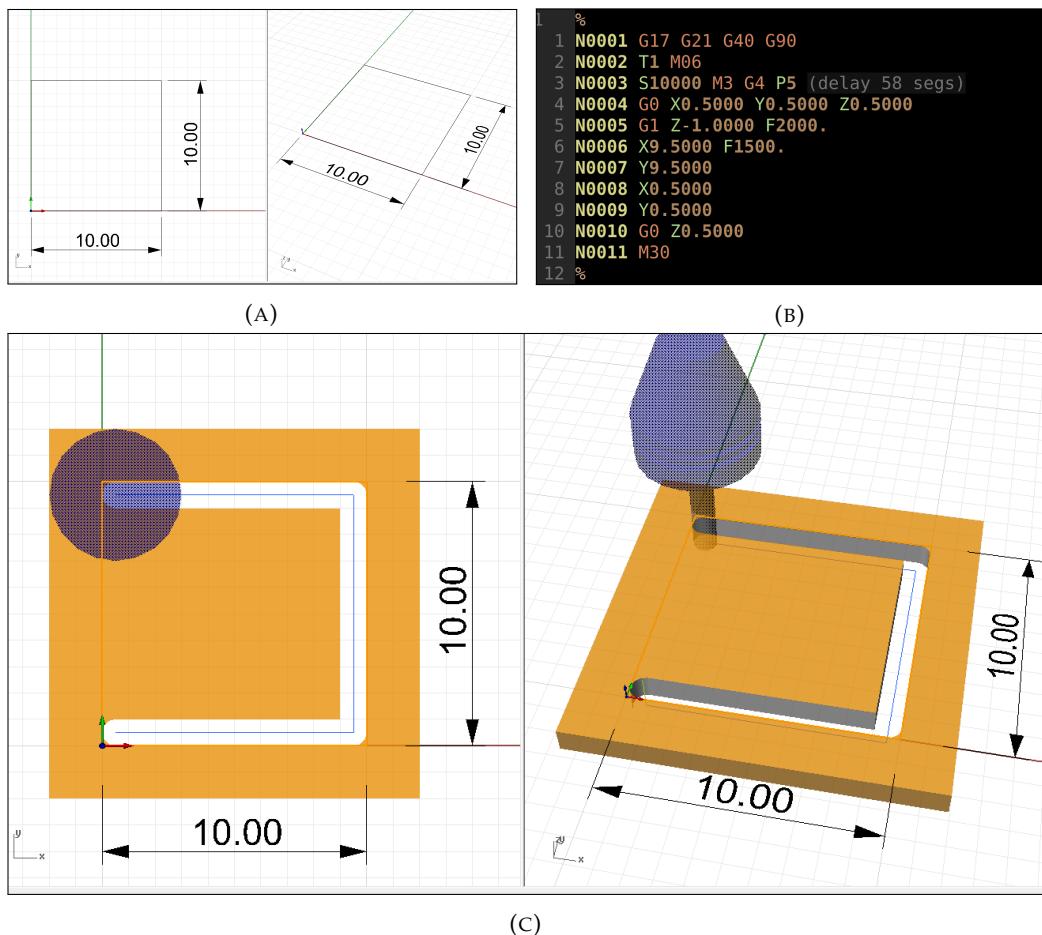


FIGURA 2.4. Secuencia de pasos para operar una maquina CNC moderna. A) Se diseña la pieza en el CAD. C) Se simula el proceso de corte en el CAM. C) Se exporta desde el CAM un archivo en lenguaje GCode con las instrucciones de maquina que leera el controlador.

2.1.2. Controlador

El controlador de movimientos es un equipo electronico capaz de leer un programa en lenguaje GCode y proveer las salidas adecuadas para mover la maquina. Es usual que a la salida del controlador se conecten amplificadores de senal conocidos como drivers que proveen la potencia suficiente para mover los motores y mecanismos montados en la maquina.

De esta manera el controlador se compone de etapas, controlador logico y drivers como se aprecia en la figura 2.5.

En función de la complejidad requerida para la maquina y de los requisitos de potencia para los movimientos se dimensionan el controlador y los drivers.

En las tablas 2.1 y 2.2 se listan algunos modelos de controladores y drivers comerciales listando las características principales.



FIGURA 2.5. La etapa de control se suele separar en dos: controlador logico y driver de potencia

2.1.3. Maquina

En términos generales la maquina es un conjunto de piezas electromecánicas que permiten mover el elemento de mecanizado en varias dimensiones.

En algunas máquinas el elemento de mecanizado permanece fijo y lo que se mueve es la pieza a mecanizar.

Suelen ser motorizadas, pero también las hay con actuadores lineales, sistemas hidráulicos o una combinación de todos estos.

Dependiendo el propósito de la máquina se definen los grados de libertad del movimiento.

Es usual utilizar tres ejes perpendiculares para mesas de corte planos, seis ejes para centros de mecanizado de piezas complejas, seis para brazos robóticos pero solo dos para corte y grabado de piezas planas con láser.

Para el desarrollo de este trabajo se estudian solamente máquinas de dos y tres ejes perpendiculares, dado que la empresa interesada comercializa principalmente este tipo de estructuras que se esquematiza en la figura 2.6.

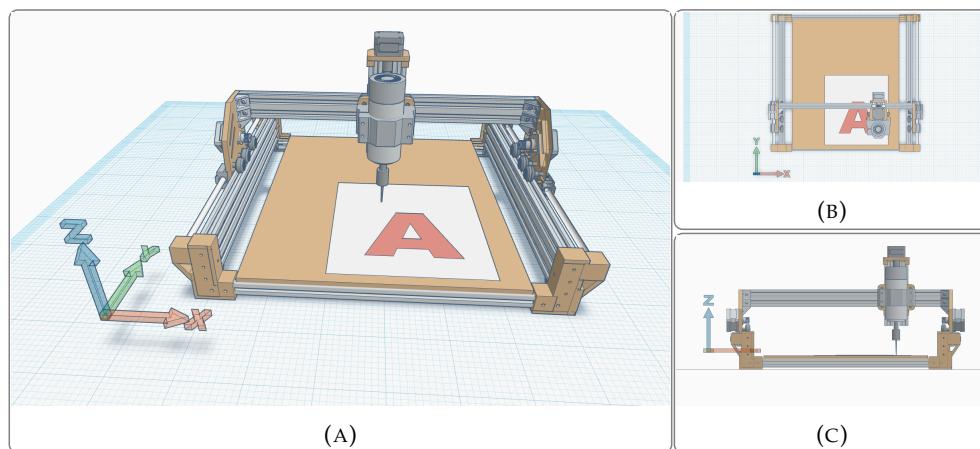


FIGURA 2.6. Esquema de una máquina de 3 ejes perpendiculares como las que se analizan en esta memoria.

Se muestran algunos modelos de máquinas fabricadas por Wolfcut en la figura 2.7

TABLA 2.1. Modelos de controladores CNC disponibles en el mercado

Características	Imagen
Controlador dependiente de una PC y conexión por puerto paralelo. Solución económica para máquinas hobbistas de baja performance.	
Controlador integrado de media performance, ideal para máquinas profesionales pero de baja complejidad. Este es el controlador que se usará en este trabajo para realizar los ensayos.	
Controlador basado en PC sobre SO Windows de media performance. Este es el controlador que usa actualmente Wolfcut en sus máquinas en conjunto con un software de reconocimiento de marcas.	 Software screenshot showing a 3D model of a rectangular part with a slot, tool paths, and a G-code list on the right side.
Controlador autónomo profesional de gran performance y opciones de operación.	

TABLA 2.2. Modelos de drivers de motores

Características	Imagen
Driver para motores paso a paso pequenos, economicos, ideales para maquinas simples, impresoras 3D, y hobby.	
Driver para motores paso a paso medianos, ideales para maquinas de media precision y mecanica semipesada.	
Driver para motores BLDC, de potencia media, adecuados para maquinas de extrema precision y escalables en potencia.	

2.1.4. Tecnologias utilizadas

2.1.5. Desarrollo de drivers para Linux

2.1.6. Plataforma pocketBeagle

2.1.7. Aplicacion web

El bloque 1 es el encargado de implementar un aplicacion web que se muestra en la figura 2.9 y que corre en la PocketBeagle y provee al usuario una interfaz que puede acceder desde cualquier navegador. Es la aplicacion principal del sistema, para la cual se utilizadon una gran variedad de tecnologias com se detallan en la siguiente lista:

- HTML:
- JavaScript:
- CSS:
- Three.js:
- socketio:
- aiofiles:
- aiohttp:
- python:

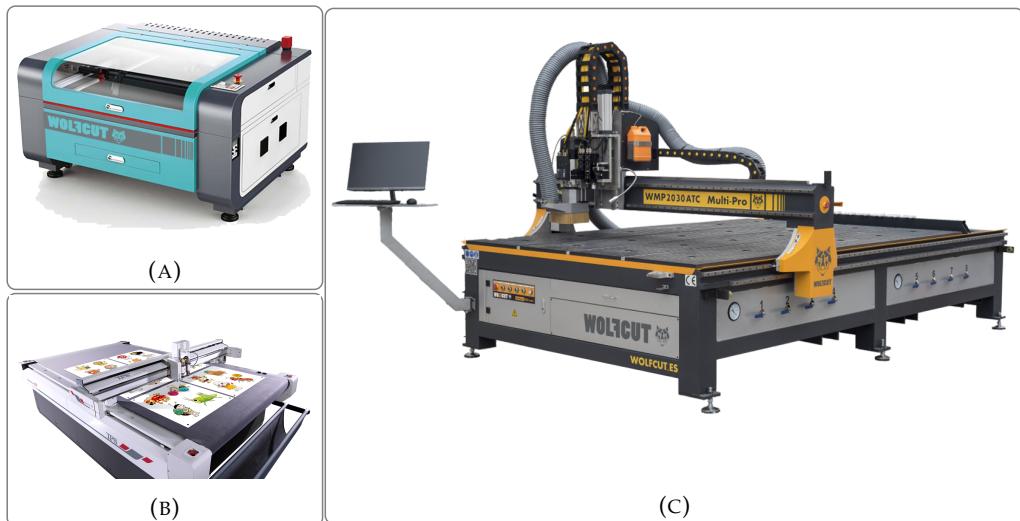


FIGURA 2.7. Maquinas CNC fabricadas por la empresa Wolfcut. A) Fresadora de 3 ejes para corte y mecanizado de madera, plasticos, carton, aluminio, etc. B) Maquina de 2 ejes de corte por cuchilla para carton, papel, calcos, etc. C) Maquina de 3 ejes para corte y grabado laser de materiales plasticos, madera, carton, papel, etc.

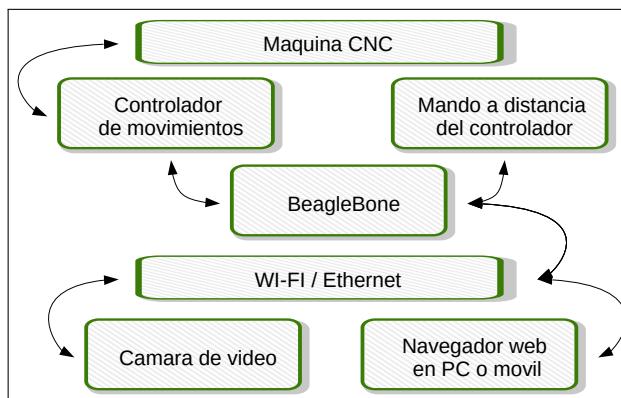


FIGURA 2.8. Diagrama de bloques del sistema implementado para con el objeto de identificar las tecnologias involucradas en cada bloque.

- `asyncio`:
- `Jinja2`:

2.1.8. HTML, JavaScript, CSS

2.1.9. Python

2.1.10. socketIO, asyncio

2.1.11. OpenCV

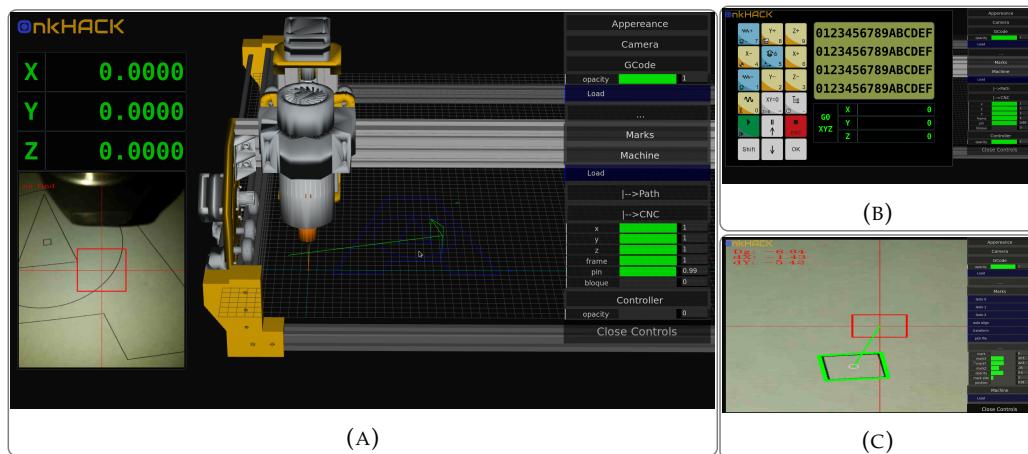


FIGURA 2.9. Aplicacion web desarrollada para controlar la maquina, transferir archivos, gestionar la detección de marcas, visualizar el trabajo a cortar en tiempo real, entre otras utilidades de configuracion.

Capítulo 3

Diseño e implementación

En este capitulo se muestra en detalle la solucion implementada destacando los bloques constitutivos y su interoperabilidad.

3.1. Intervencion al NK105

Es importante mencionar que el controlador elegido para el trabajo no cuenta con una API de control y tampoco esta dotado de algun canal de comunicaciones dedicado para tal fin, sin embargo su uso es tan popular y su desempenio es reconocido en la industria, por lo que aun con esta dificultad fue el controlador elegido. Para resolver la comunicacion con el controlador se intervió el cable que conecta el mando a distancia con el controlador. Este cable cuenta con 2 interfaces, una UART que comunica el estado de los botones del mando a distancia y una interfase SPI para el envío de la información a la pantalla LCD. Estas interfaces se adaptaron en tensión y se conectaron a la SBC para poder procesar los datos como se muestra en la figura ??

En la figura ?? se muestran los bloques de software utilizados para procesar la información proveniente del mando a distancia. Se aprovecharon los mecanismos de colas y names pipes que ofrece Linux para multiplexar los datos provenientes de la UART del mando a distancia con los datos generados por la propia SBC.

3.2. Envío de arvhivos por USB

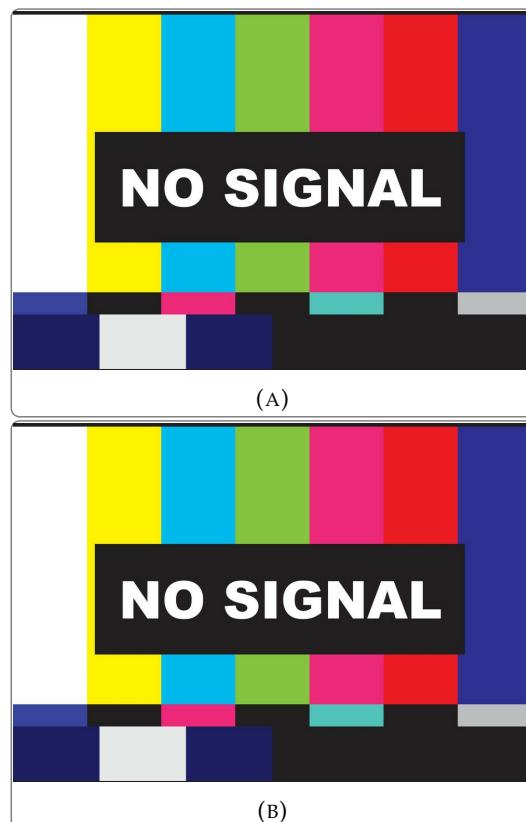


FIGURA 3.1. Mando a distancia del controlador NK105 a) Comunicación por UART del estado de la botonera b) Envío de datos del controlador al LCD por SPI

Capítulo 4

Ensayos y Resultados

4.1. Pruebas funcionales del hardware

- 4.1.1. Validación de tramas SPI
- 4.1.2. Validación de tramas UART
- 4.1.3. Precisión de centro y ángulo de las marcas

4.2. Pruebas funcionales del software

- 4.2.1. Ensayos con diferentes cámaras y resoluciones de video
- 4.2.2. Validación del error de rotación del GCode
- 4.2.3. Validación del error de alineación
- 4.2.4. Ensayo general de caja negra con diferentes archivos de mecanizado

Capítulo 5

Conclusiones

5.1. Conclusiones generales

La idea de esta sección es resaltar cuáles son los principales aportes del trabajo realizado y cómo se podría continuar. Debe ser especialmente breve y concisa. Es buena idea usar un listado para enumerar los logros obtenidos.

Algunas preguntas que pueden servir para completar este capítulo:

- ¿Cuál es el grado de cumplimiento de los requerimientos?
- ¿Cuán fielmente se puedo seguir la planificación original (cronograma incluido)?
- ¿Se manifestó algunos de los riesgos identificados en la planificación? ¿Fue efectivo el plan de mitigación? ¿Se debió aplicar alguna otra acción no contemplada previamente?
- Si se debieron hacer modificaciones a lo planificado ¿Cuáles fueron las causas y los efectos?
- ¿Qué técnicas resultaron útiles para el desarrollo del proyecto y cuáles no tanto?

5.2. Próximos pasos

Acá se indica cómo se podría continuar el trabajo más adelante.

Bibliografía

- [1] wikipedia.com. *La especificacion del lenguaje GCode.* <https://en.wikipedia.org/wiki/G-code#Implementations>. Ene. de 2019. (Visitado 10-11-2020).
- [2] *The NIST RS274NGC Interpreter - Version 3.* 6556. Rev. 3. NIST National Institute of Standards y Technology. 2000.