



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. Historia y principio de funcionamiento	1
1.1.1. Programa	2
1.1.2. Controlador	3
1.1.3. Maquina	5
1.2. Problema de alineacion en 2D	6
1.3. Motivacion	8
1.4. Objetivos y alcance	8
2. Introducción específica	11
2.1. Descripcion tecnica	11
2.1.1. Tecnologias utilizadas	12
2.1.2. Desarrollo de drivers para Linux	12
2.1.3. Plataforma pocketBeagle	12
2.1.4. HTML, JavaScript, CSS	12
2.1.5. Python	12
2.1.6. socketIO, asyncio	12
2.1.7. OpenCV	12
3. Diseño e implementación	13
3.1. Intervencion al NK105	13
3.2. Envio de arvhivos por USB	14
Bibliografía	15

Índice de figuras

1.1.	Jhon Parsons junto a una de sus maquinas, considerado el inventor de la maquina de control numerico NC.	1
1.2.	Los tres componenentes basicos de una maquina CNC.	2
1.3.	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.	2
1.4.	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.	3
1.5.	La etapa de control se suele separar en dos: controladr logico y driver de potencia	4
1.6.	Esquema de una maquina de 3 ejes perpendiculares como las que se analizan en esta memoria.	6
1.7.	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.	7
1.8.	Ejemplo de mecanizado de una letra 'W' en una placa de madera virgen sin alineacion.	7
1.9.	Ejemplo de mecanizado de una letra 'W' en una placa de madera previamente impresa pero que esta desplazada rotada y escalada segun el diseno original.	8
2.1.	Los tres componenentes basicos de una maquina CNC.	11
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	13

Índice de tablas

1.1. Modelos de controladores	4
1.2. Modelos de drivers	5

Dedicado a Fernando Sanchezzzzz...

Capítulo 1

Introducción general

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 introduce la problematica de la alineacion de piezas en 2D y finalmente las motivaciones para la realizacion de este trabajo junto con un resumen de los objetivos y alcances.

1.1. Historia y principio de funcionamiento

Hacia finales de la decada del '40, el mecanico inventor Jhon Parson¹ retratado en la figura 1.1, 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*).

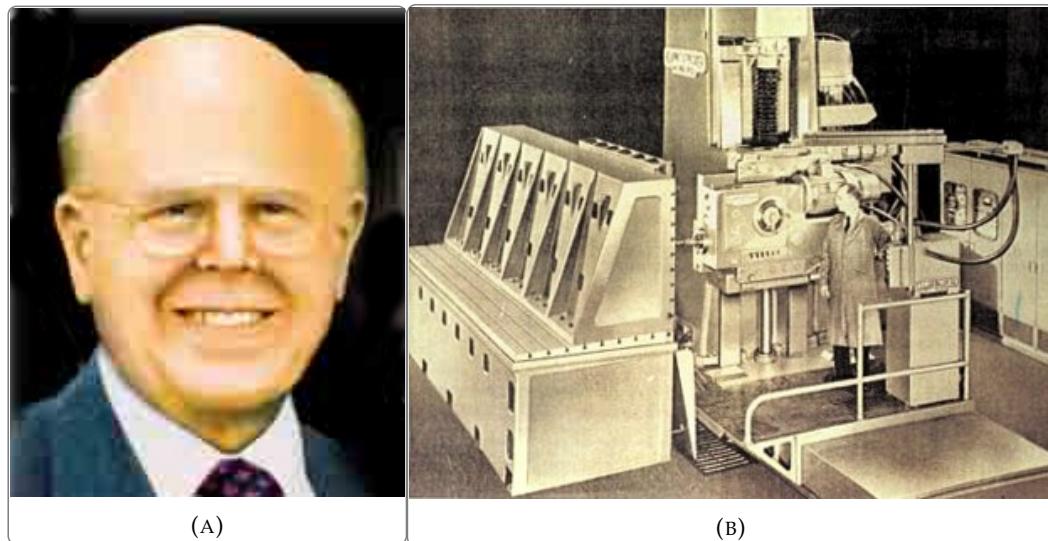


FIGURA 1.1. Jhon Parsons junto a una de sus maquinas, considerado el inventor de la maquina de control numerico NC.

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*).

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

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 1.2.



FIGURA 1.2. Los tres componentes basicos de una maquina CNC.

1.1.1. 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 Masachussets en la decada 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 maquina de mecanografia, se transcribia a una cinta perforada que seria luego interpretada por el controlador de movimientos. Se pueden ver algunas fotos de este primigenio proceso en la figura 1.3

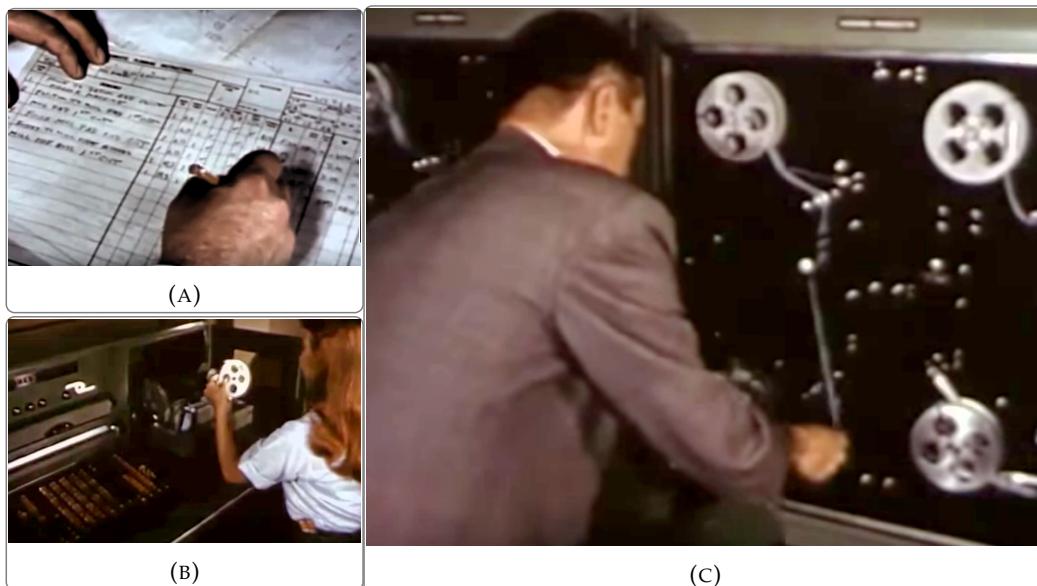


FIGURA 1.3. Secuencia de pasos para operar una maquina CNC primigenia. A) Ingeniero escribiendo en papel la lista de operaciones para mecanizar una pieza en lenguaje GCode. B) Operadora transcribiendo la lista de operaciones a una cinta plastica perforada. C) Lector de cinta multiperforada que controla 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 asistido 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 sera luego procesado por el controlador.

Esta secuencia es conocida como diseño CAD/CAM y se muestra en la figura 1.4

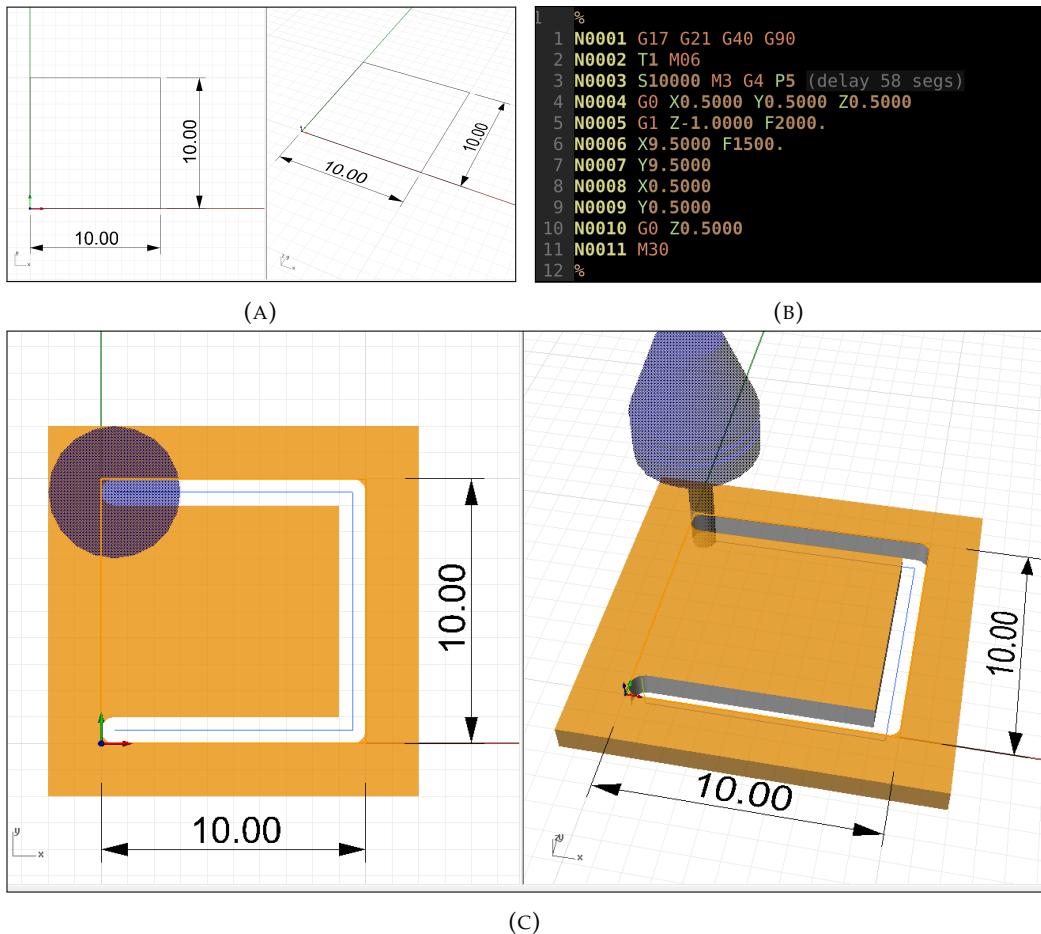


FIGURA 1.4. Secuencia de pasos para operar una maquina CNC moderna. A) Se diseña la pieza en el CAD. C) Se simula el proceso de corte en el CAM. C) Se exporta desde el CAM un archivo en lenguaje GCode con las instrucciones de maquina que leera el controlador.

1.1.2. 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 señal 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 1.5.

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 1.1 y 1.2 se listan algunos modelos de controladores y drivers comerciales listando las características principales.

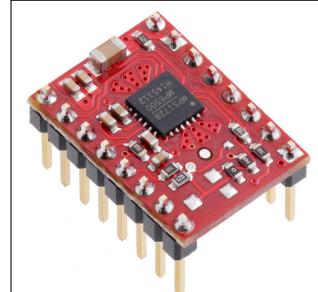


FIGURA 1.5. La etapa de control se suele separar en dos: controlador logico y driver de potencia

TABLA 1.1. 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.	
Controlador autónomo profesional de gran performance y opciones de operación.	

TABLA 1.2. 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.	

1.1.3. Maquina

En terminos generales la maquina es un conjunto de piezas electromecanicas que permiten mover el elemento de mecanizado en varias dimensiones. En algunas maquinas el elemento de mecanizado permanece fijo y lo que se mueve es la pieza a mecanizar.

Suelen ser motorizadas, pero tambien las hay con actuadores lineales, sistemas hidraulicos o una combinacion de todos estos.

Dependiendo el proposito de la maquina 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 roboticos pero solo dos para corte y grabado de piezas planas con laser.

Para el desarrollo de este trabajo se estudian solamente maquinas de dos y tres ejes perpendiculares, dado que la empresa interesada comercializa principalmente este tipo de estructuras que se esquematiza en la figura 1.6.

Se muestran algunos modelos de maquinas fabricadas por Wolfcut en la figura 1.7

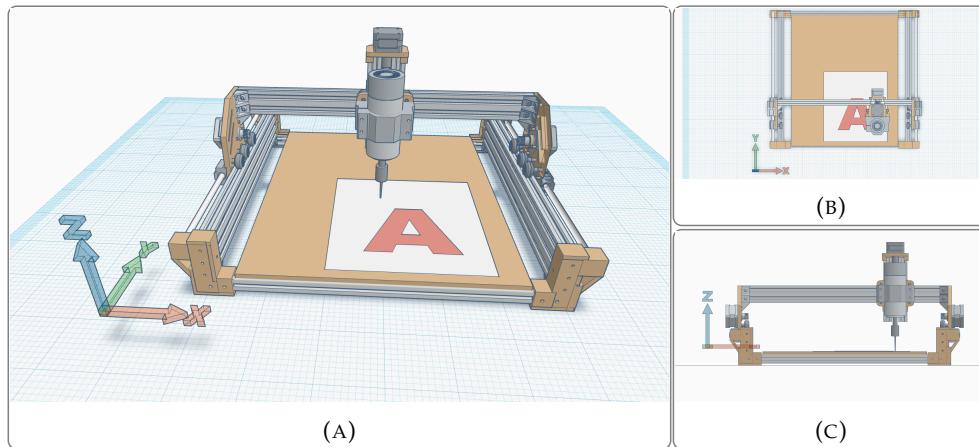


FIGURA 1.6. Esquema de una maquina de 3 ejes perpendiculares como las que se analizan en esta memoria.

1.2. Problema de alineacion en 2D

Dado un trabajo de corte, por ejemplo el corte de una letra 'W' en una placa de madera virgen los pasos para realizar el trabajo se pueden resumir en la siguiente lista:

1. Realizar el diseño de la letra 'W' con las herramientas CAD/CAM.
2. Cargar el programa en el controlador.
3. Fijar la placa de madera en la mesa.
4. Posicionar la fresa de corte sobre la placa en la coordenada de inicio de la letra 'W'.
5. Cortar.

En la figura 1.8 se puede ver que dado que la placa de madera esta virgen, no hace falta posicionar de manera precisa la la placa en la mesa.

En ciertas ocasiones se requiere que el trabajo de corte se realice sobre una pieza previamente impresa. En el ejemplo la placa de madera podria haber sido impresa en otra maquina, y luego es necesario cortar su perimetro. En este caso sera necesario utilizar alguna tecnica para posicionar con exactitud la placa de madera en la maquina para conseguir la alineacion.

Tambien es usual encontrar que las maquinas tengan pequenas diferencias de escala a la hora de ejecutar los trabajos. Por ejemplo la letra 'W' del ejemplo podria tener una dimension mayor que la especificada en el archivo de diseño. En este caso habra que escalar el archivo de diseño para que al ejecutar el trabajo se compensen los desajustes.

En la figura 1.9 se muestra esta situacion con una placa de madera impresa con una letra 'W' que esta desplazada, rotada y escalada con respecto al archivo original de diseño.

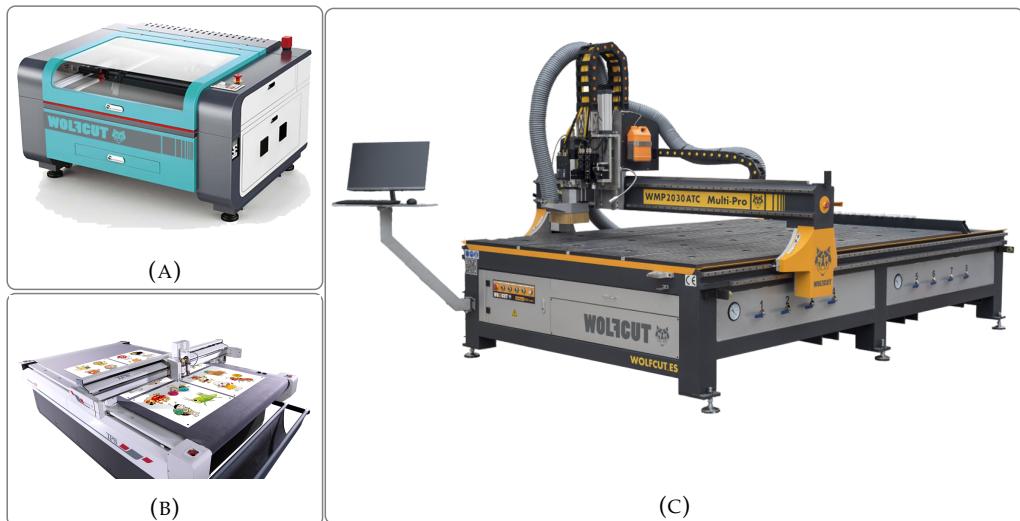


FIGURA 1.7. Maquinas CNC fabricadas por la empresa Wolfcut. A) Fresadora de 3 ejes para corte y mecanizado de madera, plasticos, carton, aluminio, etc. B) Maquina de 2 ejes de corte por cuchilla para carton, papel, calcos, etc. C) Maquina de 3 ejes para corte y grabado laser de materiales plasticos, madera, carton, papel, etc.

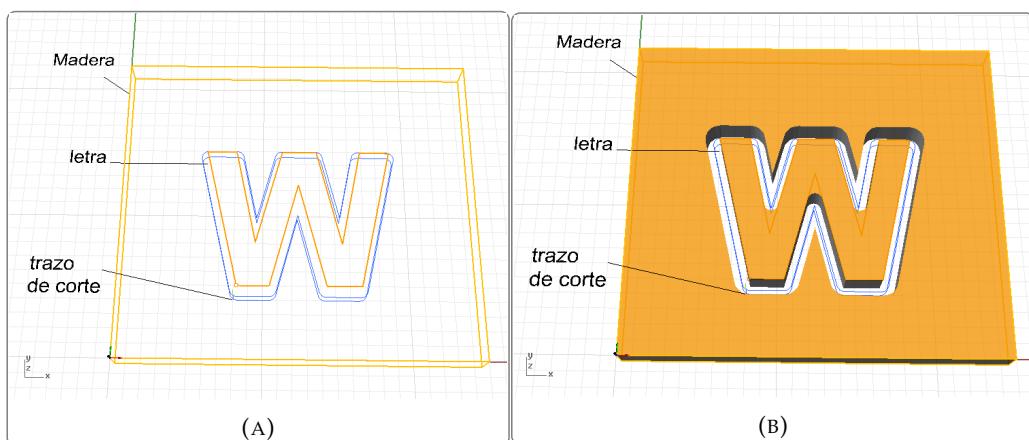


FIGURA 1.8. Ejemplo de mecanizado de una letra 'W' en una placa de madera virgen sin alineacion.

En este caso los pasos para realizar el trabajo se pueden resumir en la siguiente lista:

1. Tomar al menos 2 cotas de la pieza impresa y escalar con las herramientas de CAD/CAM el disenio original.
2. Cargar el programa en el controlador.
3. Alinear la placa impresa con un eje de movimiento para escuadrar ambos.
4. Posicionar la fresa de corte sobre la placa en la coordenada de inicio de la letra 'W'.
5. Cortar.

Las tareas 1 y 3 requieren de intervencion manual que consume valioso tiempo del operario de la maquina y es muy propenso a errores. Los resultados de esta

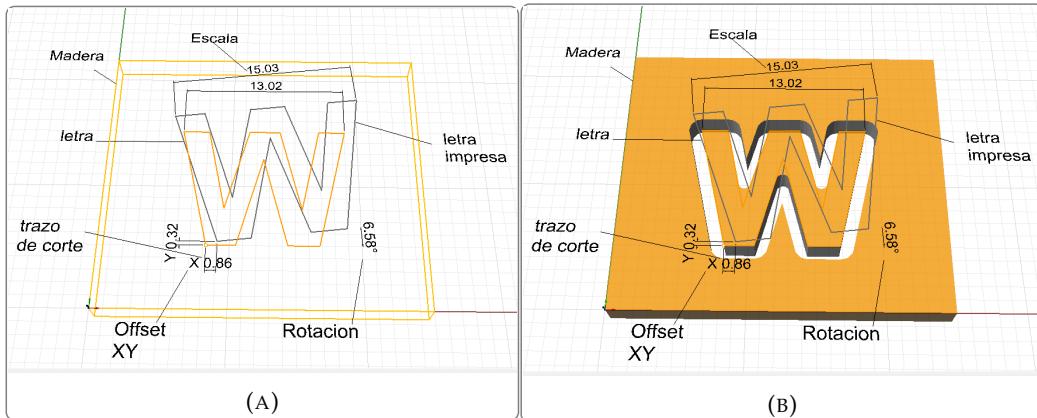


FIGURA 1.9. Ejemplo de mecanizado de una letra 'W' en una placa de madera previamente impresa pero que esta desplazada rotada y escalada segun el diseño original.

operacion manual termina con mucha variacion en los resultados y en ciertos casos podria arruinar la pieza impresa original por cortar fuera de margen.

1.3. Motivacion

Basado en el conocimiento de mercado que ha adquirido Wolfcut durante muchos años en relacion a las caracteristicas tecnicas de los controladores de maquinas, se ha observado que los controladores de rango bajo y medio no cuentan con caracteristicas tecnicas que permitan algun tipo de alineacion y transformacion, mientras que algunos de los controladores de mayor performance lo permiten pero a un costo excesivo para el mercado de la empresa.

Esta situacion motiva el objetivo de dotar de vision artificial a los controladores que actualmente comercializa la empresa y asi mantener sus productos competentes tanto en precio como en caracteristicas tecnicas.

Por otro lado, el desarrollo se realizo siguiendo un modelo de bloques para permitir portar el trabajo a cualquier controlador que permita cierta interaccion o cuente con una API definida. Este enfoque refuerza la motivacion considerando otros mercados en los que se podria aplicar como, brazos roboticos, impresoras 3D, etc.

1.4. Objetivos y alcance

Se plantean los siguientes objetivos globales:

1. Intervenir el controlador NK105 para poder controlar su operacion a traves de un computador externo
2. Dotar de una interfaz web tanto para comandar la maquina como para lectura de marcas
3. Permitir el uso de diferentes modelos de camaras y tipos de interfaces para poder adaptarlos a cada escenario de uso

4. Mantener los costos de todo el sistema en una fraccion del costo del propio controlador
5. Lograr una alineacion con 3 marcas y corregir offset, escalado y rotado del trabajo de corte
6. Poder enviar el nuevo archivo de corte corregido al controlador sin necesidad de utilizar un pendrive USB

Capítulo 2

Introducción específica

En el presente capítulo se expone una descripción global del sistema que se implemento y se detallan las características mas relevantes de las tecnologías elegidas para cada subsistema

2.1. Descripción técnica

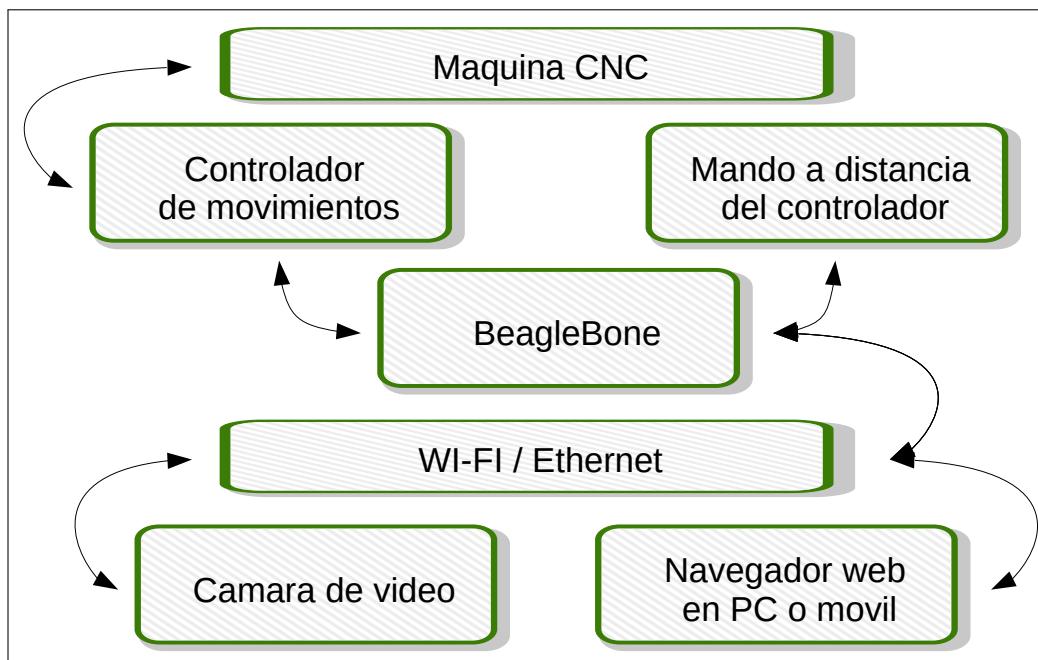


FIGURA 2.1. Los tres componentes básicos de una máquina CNC.

- 2.1.1. Tecnologias utilizadas**
- 2.1.2. Desarrollo de drivers para Linux**
- 2.1.3. Plataforma pocketBeagle**
- 2.1.4. HTML, JavaScript, CSS**
- 2.1.5. Python**
- 2.1.6. socketIO, asyncio**
- 2.1.7. OpenCV**

Capítulo 3

Diseño e implementación

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

3.1. Intervención al NK105

Es importante mencionar que el controlador elegido para el trabajo no cuenta con una API de control y tampoco está dotado de algún canal de comunicaciones dedicado para tal fin, sin embargo su uso es tan popular y su desempeño es reconocido en la industria, por lo que aun con esta dificultad fue el controlador elegido. Para resolver la comunicación con el controlador se intervino 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 ??

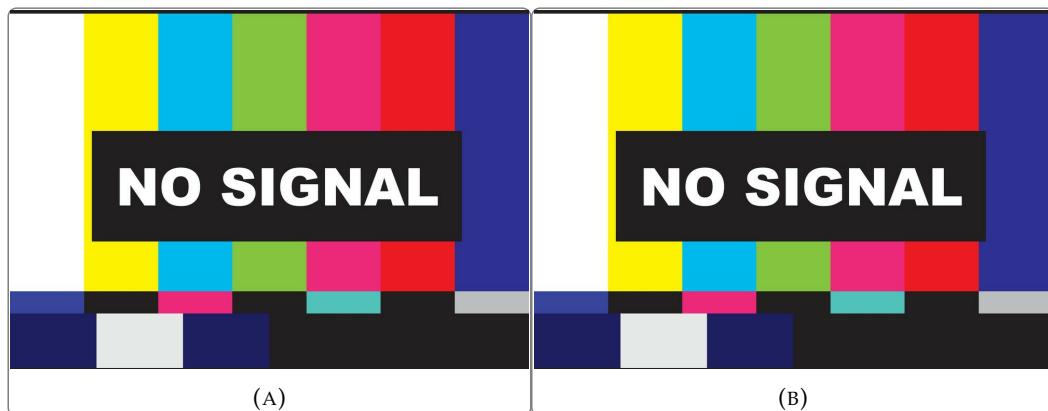


FIGURA 3.1. Mando a distancia del controlador NK105 a) Comunicación por UART del estado de la botonera b) Envío de datos del controlador al LCD por SPI

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. Envio de arvhivos por USB

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.