



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. Plataforma PocketBeagle	10
2.1.6. Aplicacion web	12
2.1.7. Camara de video	14
2.1.8. Trigonometria de alineacion	15
2.1.9. Deteccino y tipos de marcas fiduciales	17
3. Diseño e implementación	21
3.1. Intervencion al NK105	21
3.2. Envio de arvhivos por USB	21
4. Ensayos y Resultados	23
4.1. Pruebas funcionales del hardware	23
4.1.1. Validación de tramas SPI	23
4.1.2. Validación de tramas UART	23
4.1.3. Precisión de centro y ángulo de las marcas	23
4.2. Pruebas funcionales del software	23
4.2.1. Ensayos con diferentes cámaras y resoluciones de video	23
4.2.2. Validación del error de rotación del GCode	23
4.2.3. Validación del error de alineación	23
4.2.4. Ensayo general de caja negra con diferentes archivos de mecanizado	23
5. Conclusiones	25
5.1. Conclusiones generales	25
5.2. Próximos pasos	25
Bibliografía	27

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. a) Plataforma PocketBeagle de desarrollo utilizada en este trabajo. http://beagleboard.org/pocket b) Adaptador USB a WiFi que otorga conectividad a la plataforma.	12
2.10. Capas de software relacionadas con la aplicacion web implemtada en este trabajo.	12

2.11. Aplicacion IPWebcam que permite utilizar la camara del movil y enviar el video por wifi. a) Se muestra una captura parcial de la pagina web que permite el control de los parametros de la camara. b) Captura de la aplicacion en el movil.	15
2.12. Correccion de desplazamiento. A representa el sistema de coordenadas de la maquina y las dimensiones extraidas del archivo de corte, B representa el objeto real desplazado, escalado y rotado respecto del primero a) El plano B se encuentra desplazado 2mm en el eje x y 1mm en el eje Y. b) El plano A se desplaza y corrige su posicion.	16
2.13. Calculo de rotacion conociendo las coordenadas relativas de dos puntos. a) Se calculas las coordenadas del punto 2 en cada sistema de coordenadas. b) Se calcula el angulo en el plano A. b) Se calculo el angulo en el plano B.	17
2.14. Correccion de la rotacion. a) Se calcula la diferencia de angulos entre los planos b) se corrige rotando el plano A.	18
2.15. Correccion de la escala. a) Se calcula la diferencia de dimensines en x e y b) Se corrige escalando el plano A.	18
2.16. Ejemplo de diferentes tipos de marcas fiduciales. a) Figuras geometricas llenas o contorno b) Ejemplo de marcas fiducial en una placa de circuito impreso PCB. c) Marcas fiduciales codificadas.	19
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	22
3.2. Aplicacion web desarrollada para controlar la maquina, transferir archivos, gestionar la deteccion de marcas, visualizar el trabajo a cortar en tiempo real, entre otras utilidades de configuracion.	22

Índice de tablas

1.1. Sistemas de alineacion automativos	3
2.1. Modelos de controladores	9
2.2. Modelos de drivers	10
2.3. Seleccion de la camara	14

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.

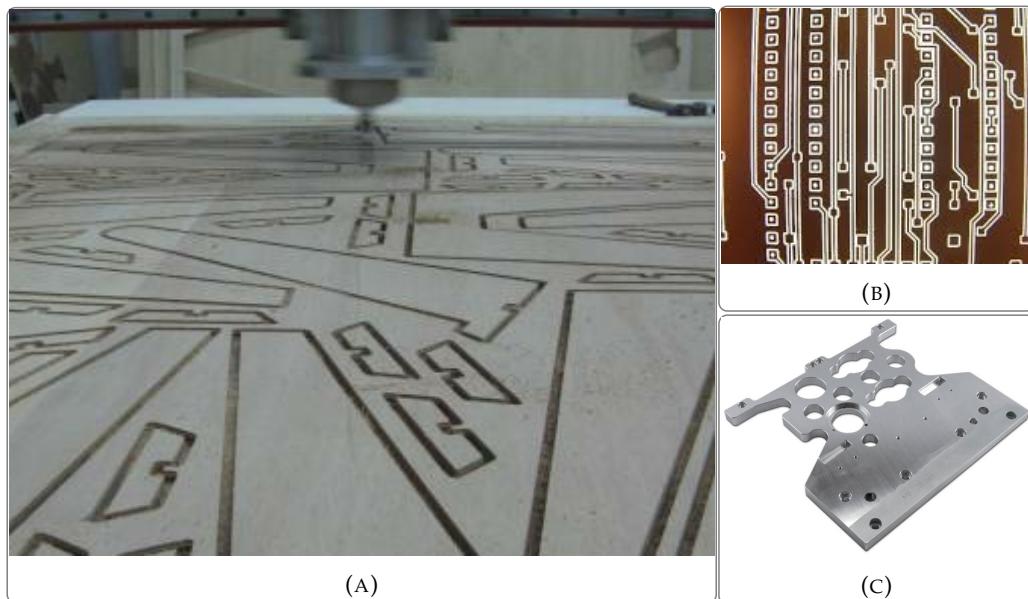


FIGURA 1.1. Ejemplos de piezas mecanizadas mediante maquinas CNC. a) Corte de letras en madera para carteleria. b) Placa de circuito impreso mecanizado. c) Pieza de aluminio para una maquina.

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.

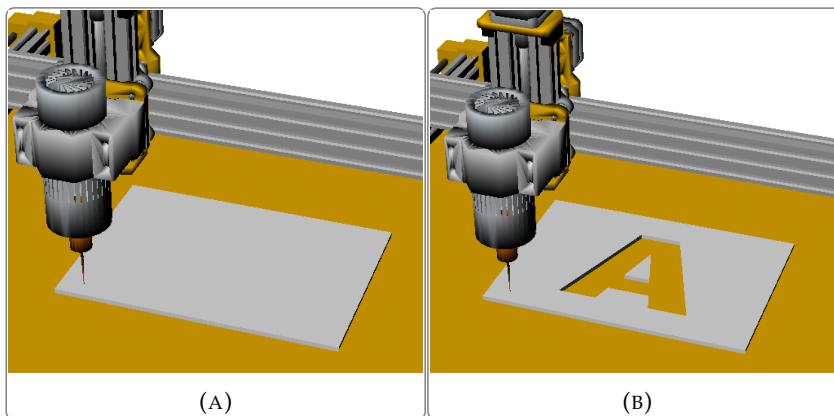


FIGURA 1.2. Esquema de corte de una letra en una placa de material virgen. a) Placa a cortar fijada a la mesa de corte y fresa de corte en posicion. b) pieza cortada

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.

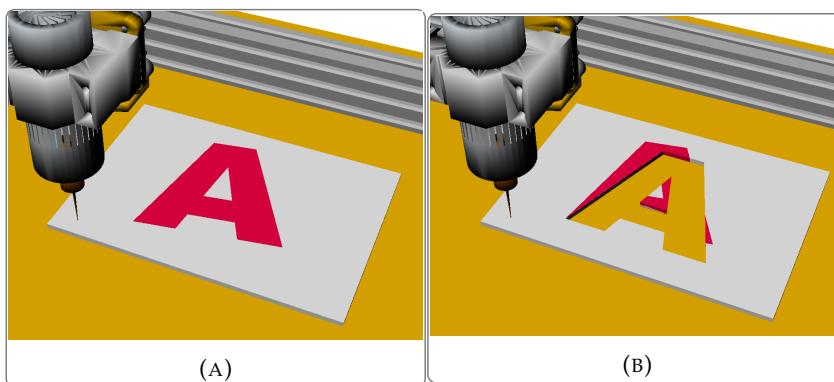


FIGURA 1.3. Esquema de corte de una letra en una placa de material previamente impreso al cual se le desea cortar la silueta. a) Placa a cortar fijada a la mesa de corte y fresa de corte en posicion. b) pieza cortada con una notable desalineacion entre la silueta previamente impresa y el corte del material

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

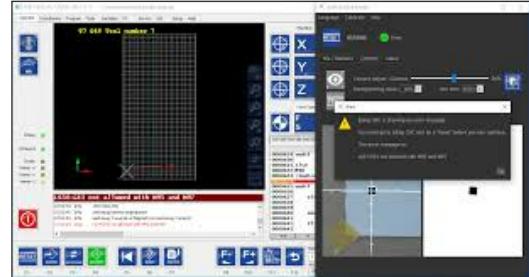
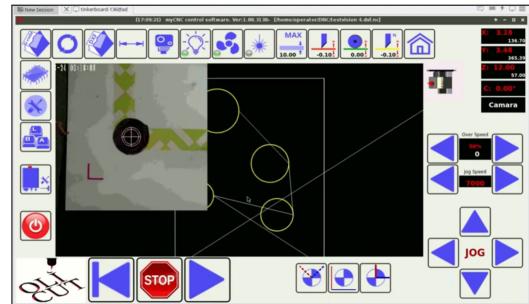
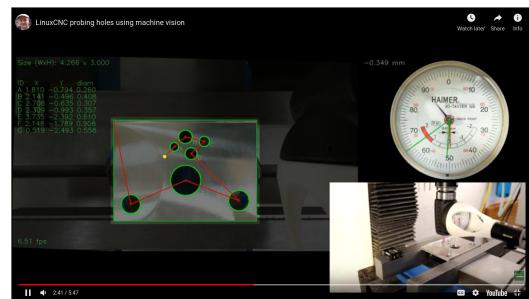
- Alineacion de placas de circuito impreso de 2 caras
- Alineacion de una pieza que requiere un retoque
- Alineacion luego de un corte de energia
- Correccion por errores de escala entre diferentes maquinas
- Correccion ante escalado por variacion de temperatura
- Correccion por deformacion para piezas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

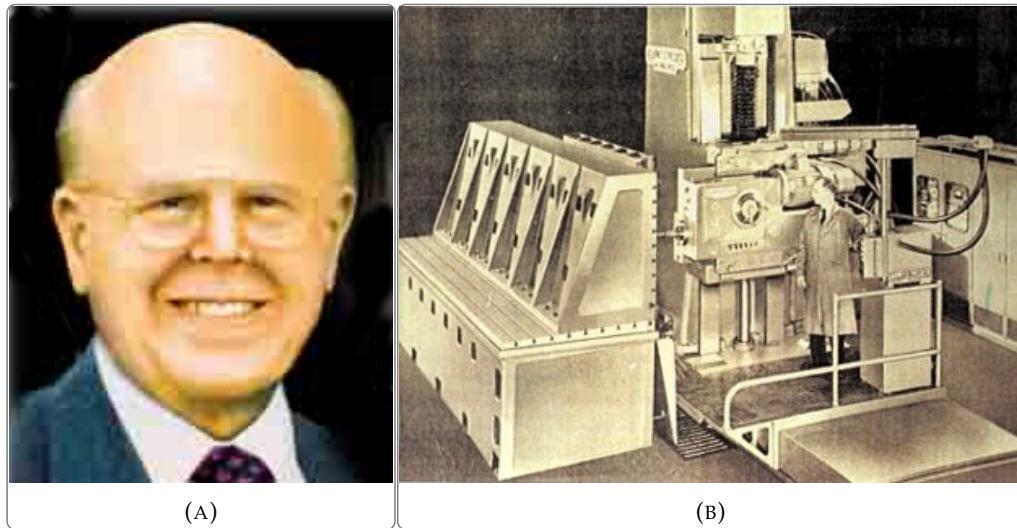


FIGURA 2.1. Jhon Parsons junto a una de sus maquinas, considerado el inventor de la maquina de control numerico NC.

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

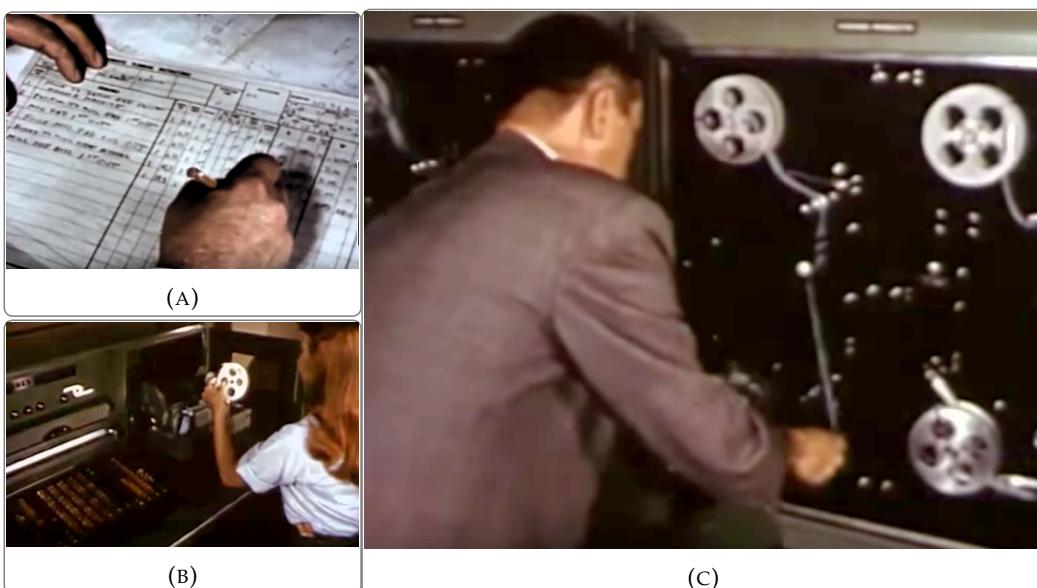


FIGURA 2.3. Secuencia de pasos para operar una maquina CNC primigenia. A) Ingeniero escribiendo en papel la lista de operaciones para mecanizar una pieza en lenguaje GCode. B) Operadora transcribiendo la lista de operaciones a una cinta plástica perforada. C) Lector de cinta multiperforada que controla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

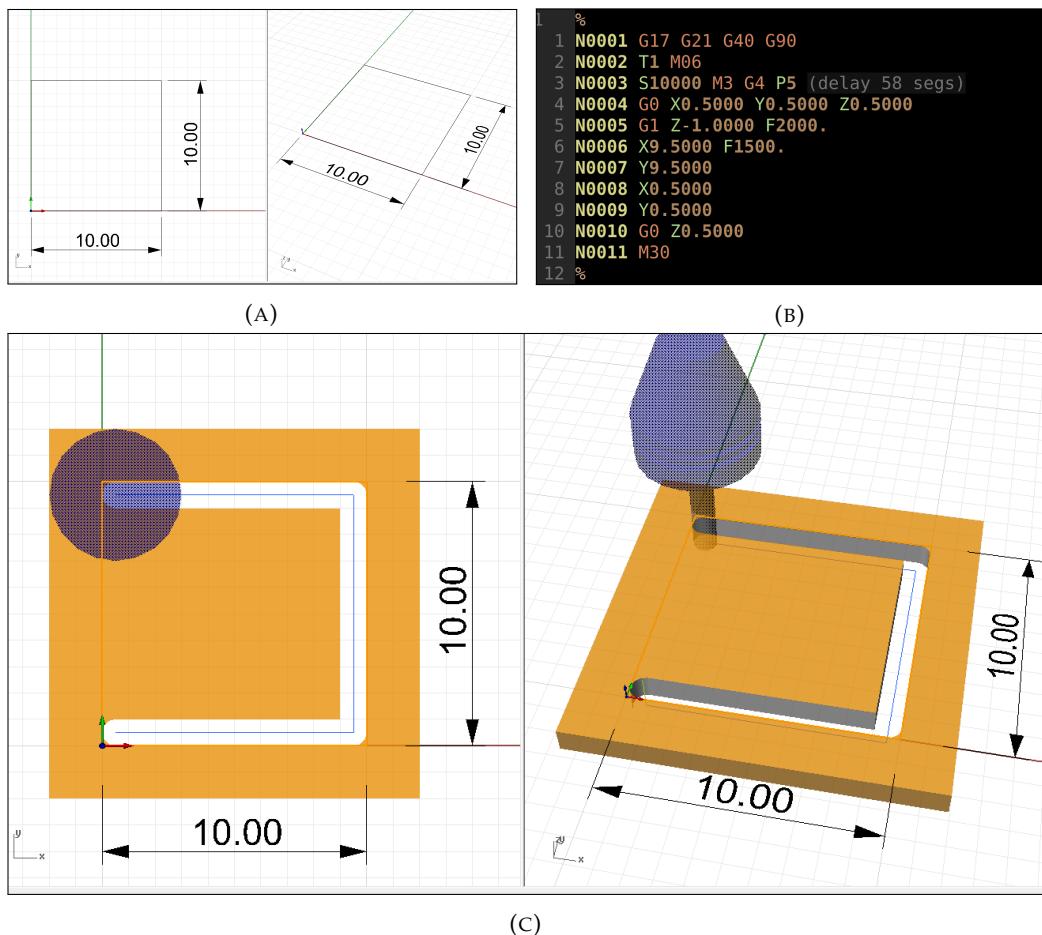


FIGURA 2.4. Secuencia de pasos para operar una maquina CNC moderna. A) Se diseña la pieza en el CAD. C) Se simula el proceso de corte en el CAM. C) Se exporta desde el CAM un archivo en lenguaje GCode con las instrucciones de maquina que leera el controlador.

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.

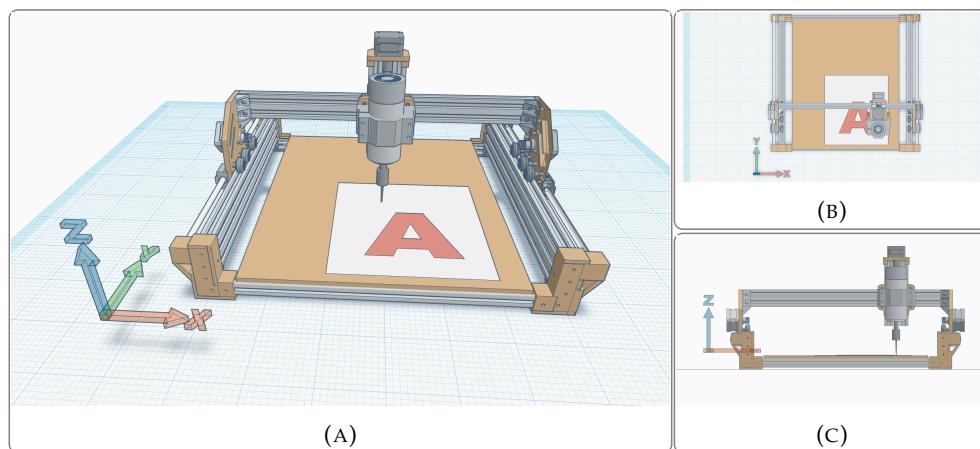


FIGURA 2.6. Esquema de una máquina de 3 ejes perpendiculares como las que se analizan en esta memoria.

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

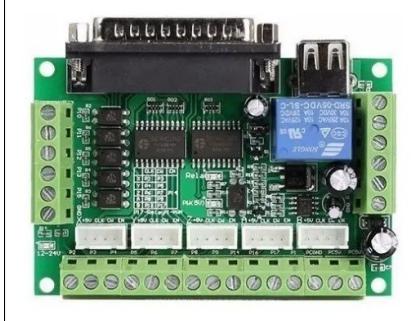
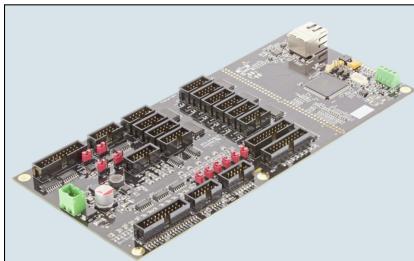
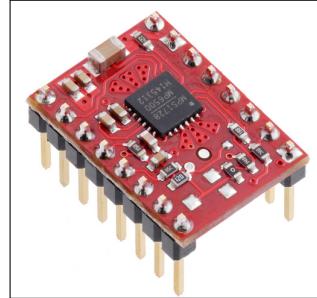
Características	Imagen
Controlador dependiente de una PC y conexión por puerto paralelo. Solución económica para máquinas hobbistas de baja performance.	
Controlador integrado de media performance, ideal para máquinas profesionales pero de baja complejidad. Este es el controlador que se usará en este trabajo para realizar los ensayos.	
Controlador basado en PC sobre 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 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. Plataforma PocketBeagle

PocketBeagle es un miembro de un ecosistema de plataformas de desarrollo BeagleBoard. [3]. Las caracteristicas de esta plataforma, que se muestra en la figura 2.9.a, y que son relevantes para este trabajo son las siguientes:

- Controlador integrado SiP (system-in-package) Octavo Systems OSD3358-SM.
- Memoria de 512MB DDR3.
- Unidad de procesamiento de 32b Cortex-A8 @1-GHz.
- 72 pines de expansion, UART, SPI, I2C, entre otras.
- USB de alta velocidad.

Durante la carrera de maestria se obtuvo experiencia en el uso de una plataforma de la misma familia, BeagleBoneBlack <https://beagleboard.org/black> sobre la cual se corrio un sistema operativo Linux y se desarrollaron drivers para manejar interfases de comunicacion.

Dicha experiencia permitio argumentar que este modelo cuenta con las interfases de comunicacion necesarias y es capaz de correr el software requerido para este trabajo a una fraccion del costo y tamano. La unica falencia es que no cuenta

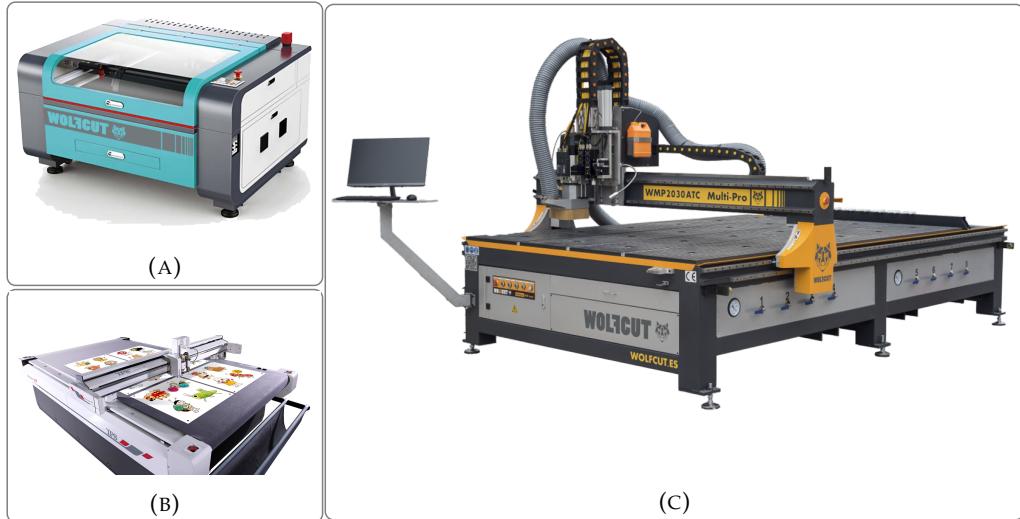


FIGURA 2.7. Maquinas CNC fabricadas por la empresa Wolfcut. A) Fresadora de 3 ejes para corte y mecanizado de madera, plasticos, carton, aluminio, etc. B) Maquina de 2 ejes de corte por cuchilla para carton, papel, calcos, etc. C) Maquina de 3 ejes para corte y grabado laser de materiales plasticos,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

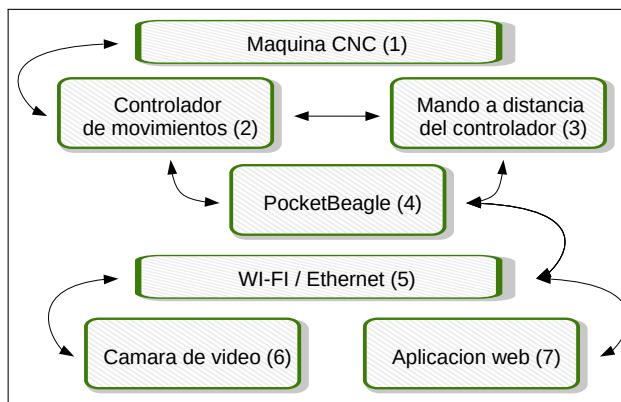


FIGURA 2.8. Diagrama de bloques del sistema implementado para con el objeto de identificar las tecnologias involucradas en cada bloque.

con una interfaz Wi-Fi ni Ethernet pero se resolvio utilizando un adaptador USB a Wi-Fi como se destaca en la figura 2.9.b.

En cuando al software que corre en esta plataforma se esta utilizando una distribucion oficial del sistema operativo debian compilada para esta plataforma y se puede descargar desde este link <https://beagleboard.org/latest-images>.

Se evaluaron plataformas mas potentes como la PYNQ-Z1 <https://www.xilinx.com/products/boards-and-kits/1-hydd4z.html>, pero dado que se trata de un accesorio para un controlador, se intento mantener los costos y la complejidad justa para la aplicacion.

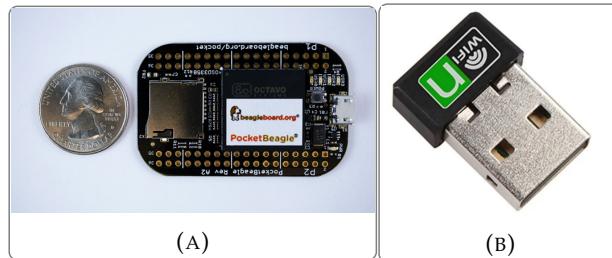


FIGURA 2.9. a) Plataforma PocketBeagle de desarrollo utilizada en este trabajo. <http://beagleboard.org/pocket> b) Adaptador USB a WiFi que otorga conectividad a la plataforma.

2.1.6. Aplicacion web

La interfaz de usuario se desarrollo utilizando tecnologias web para permitir acceder desde cualquier dispositivo a con un navegador web.

La decision de utilizar tecnologias web esta basada parcialmente en la carencia en la industria de aplicaciones para el manejo de maquinas CNC que sean agnósticas en cuanto al sistemas operativo.

Muchos usuarios utilizan herramientas de diseño sobre MacOS, y deben contar con un segundo computador para poder interactuar con el CNC.

Con esta solucion, solo basta abrir un navegador desde el mismo entorno y computador de trabajo.

Para cumplir con los requisitos planteados se utilizaron una gran variedad de tecnologias que se muestra en la figura 2.10.

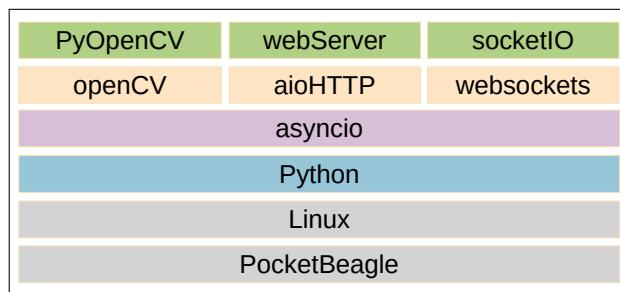


FIGURA 2.10. Capas de software relacionadas con la aplicacion web implemtada en este trabajo.

Para entender la mision de cada bloque del stack se describe la funcionalidad principal en la siguiente lista:

- Python [4]: Es un poderoso y popular lenguaje de programacion en el cual se corre principalmente el servidor web, y las funciones de procesamiento de imagenes.
- asyncio [5]: Es una biblioteca para python que permite correr una unica tarea que a su vez corre muchas otras de manera concurrente pero cooperativa.

Esto permite que por ejemplo una funcion de python este esperando datos de un archivo mientras otra procese una imagen sin bloquear las funciones del servidor y trabajando todas de manera ordenada.

- aiohttp [6]: Es una biblioteca de python que permite correr un servidor web utilizando la infraestructura de asyncio para realizar tareas de manera cooperativa y concurrente.
Es el motor del servidor web en este trabajo.
- HTML5.0 [7]: Es un lenguaje de marcas utilizado para visualizar contenidos en la world wide web.
En este trabajo se utiliza para mostrar contenido estatico pero sobre todo para aprovechar un mecanismo nativo para la reproduccion de video y se utilizara para mostrar las capturas de la camara.
- CSS [8]: Es un lenguaje que permite definir estilos, colores, formato y modo de presentacion en pantalla de una pagina escrita en HTML.
Es indispensable para crear aplicaciones web atrativas y apropiadas para cada uso.
- JavaScript [9]: Es un lenguaje de programacion intrinsecamente relacionado con html que permite la creacion de paginas web dinamicas.
La mayoria de los navegadores modernos soportan este lenguaje y es lo que permite que la aplicacion que se desarrolla pueda correr en cualquier plataforma que cuente con un navegador web. Mas del 90 % de la aplicacion web desarrollada esta escrita en lenguaje jS, y es el motor de la aplicacion. Tambien se estan utilizando bibliotecas para diferentes usos escritas en este lenguaje, lo que permite reutilizar codigo y herramientas de terceros.
- WebGL [10]: Es una biblioteca grafica escrita en jS 'Web Graphics Library' por sus siglas en ingles, que permite definir y renderizar objetos de tres dimensiones para visualizarlos en una pagina web.
Esta intimamente ligada con el desarrollo web y es por ello que puede utilizar las tarjetas graficas del ordenador que corre el navegador para acelerar las tareas de renderizado.
De esta manera logra eficiencias similares a las aplicaciones nativas del sistema operativo.
- Three.js [11]: Es una biblioteca escrita en jS, que utiliza la tecnologia WebGL pero facilita la creacion de objetos, cuenta con muchos ejemplos y casos de uso, abstracta al programador de los detalles de implementacion dejando un codigo mas simple de mantener.
Se utiliza en la aplicacion para visualizar el movimiento de la maquina en 3D, los trazos de corte, las correcciones de rotacion entre otros.
- Websockets [12]: Es un protocolo de comunicaciones que opera sobre TCP, similar a HTTP, pero disenado con la premisa de lograr una comunicacion bidireccional de baja latencia.
Es de gran importancia en la aplicacion para lograr una rapida respuesta de operacion.
- socketio [13]: Es una biblioteca de jS que utilizando Websockets permite la comunicacion bidireccional entre el servidor web y el o los clientes.
Toda la comunicacion entre los scripts de jS que corren en el cliente y el

servidor en Python que corre en el servidor se comunican utilizando esta biblioteca.

- openCV [14]: Es una biblioteca muy popular de C++ para procesamiento de imágenes asistido por computadora.

Ademas de contar con potentes algoritmos de procesamiento muy utiles en este trabajo, esta portada para muchas plataformas asegurando la compatibilidad entre dispositivos.

- PyOpenCV [15]: Es una libreria de python que permite utilizar las funciones de openCV desde python.

Dado que este trabajo esta escrito en python, se utiliza esta biblioteca para el procesamiento de marcas.

2.1.7. Camara de video

Los criterios para la seleccion de la camara de video se basaron principalmente en la interfaz de comunicacion, los costos, la calidad de imagen y la facilidad de adquisicion en mercado local. Con dichos criterios se confecciono la tabla 2.3 con las opciones mas interesantes.

TABLA 2.3. Tabla comparativa entre diferentes camaras

Modelo	Interfaz	Calidad [0-5]	accesibilidad [0-5]
celular	Wi-Fi	4	5
microscopio	USB	5	5
web-cam	USB	3	5
industrial	Ethernet	5	1

Si bien la opcion del microscopio USB es atractiva, la gran extension que debe recorrer el cable por las bandejas portacables compartida con cables de alimentacion de los motores, desalienta su uso.

Por otro lado las camaras industriales con interfase Ethernet resuelven este problema, pero por sus altos costos y dificil accesibilidad en el mercado local, se decidió postergar su utilizacion.

Para este trabajo se opto por utilizar un celular con una aplicacion muy popular llamada IPWebcam [16] para la transmision de video como se muestra en la figura 2.11.

Esta opcion resuelve el problema del cable, pero tambien permite utilizar varios modelos de movil simultaneamente sin cambiar el software y poder tomar imagenes desde diferentes angulos simultaneamente.

Esta aplicacion cuenta con una interfaz web desde la cual se pueden ajustar los parametros de la camara.

Esta caracteristica es de gran utilidad y complementa la aplicacion de usuario dado desde otra pestana del navegador permite ajustar los parametros mas importantes: zoom, brillo, desplazamiento, resolucion y calidad de imagen.

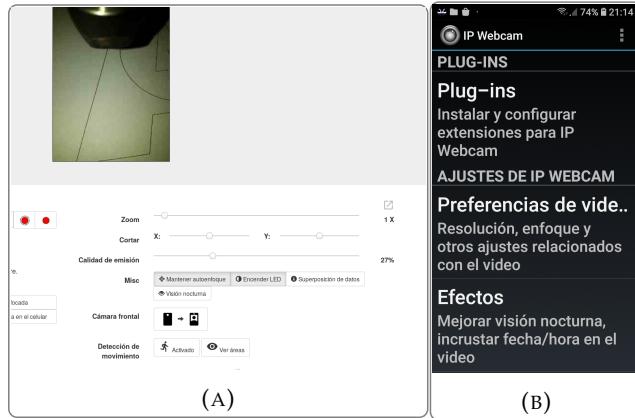


FIGURA 2.11. Aplicacion IPWebcam que permite utilizar la camara del movil y enviar el video por wifi. a) Se muestra una captura parcial de la pagina web que permite el control de los parametros de la camara. b) Captura de la aplicacion en el movil.

2.1.8. Trigonometria de alineacion

El objetivo del metodo es el de poder conocer la dimension, la posicion y la rotacion exacta de la proyeccion en dos dimensiones de un objeto relativo a las coordenadas y escala de la maquina en la cual se desea mecanizarlo.

Esto se debe a que la pieza que se desea mecanizar podria estar distorsionada, pero tambien la propia maquina y lo que importa es solo su relacion.

Como se trata de una alineacion en dos dimensiones, en geometria implica posicionar, escalar y rotar un plano respecto de otro.

Si se consideran dos planos A y B superpuestos como se muestra en la figura 2.12.a en donde A en rojo representa el sistema de coordenadas de la maquina y las dimensiones establecidas en el archivo de corte, mientras que B en azul representa la el objeto real a mecanizar que se encuentra desplazado, rotado y escalado respecto al primero.

Conociendo las coordenadas de un solo punto en los dos sistemas de coordenadas, se puede establecer el desplazamiento y corregirlo como se realiza en la figura 2.12.b. El punto 1 en el sistema A es el (2, 1) mientras que en el sistema B es el (0, 0). La ecuacion que corrige la posicion de A es la 2.1

$$\begin{aligned} A_x(x) &= x + x_1 \\ A_y(y) &= y + y_1 \end{aligned} \quad (2.1)$$

Ahora si se considera un segundo punto 2 como se muestra en la figura 2.13.a, se puede calcular la rotacion relativa entre B y A.

Como primer paso, aplicando trigonometria se calcula el angulo que forma el punto 2 con el punto 1 en el plano A, luego el angulo del punto 2 con el punto 1 pero en coordenadas del plano B, su diferencia es la rotacion del plano A respecto al plano B.

Se puede ver graficamente en las figuras 2.13 b y c y se expresa en las ecuaciones 2.2.

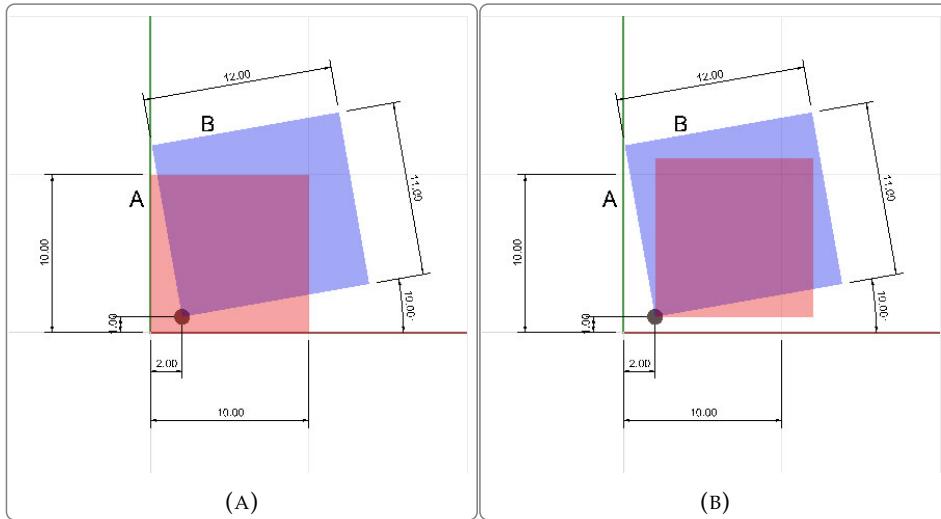


FIGURA 2.12. Corrección de desplazamiento. A representa el sistema de coordenadas de la máquina y las dimensiones extraídas del archivo de corte, B representa el objeto real desplazado, escalado y rotado respecto del primero a) El plano B se encuentra desplazado 2mm en el eje x y 1mm en el eje Y.
b) El plano A se desplaza y corrige su posición.

$$\begin{aligned}
 R_A &= \arctan\left(\frac{x_{2A}}{y_{2A}}\right) \\
 &= \arctan\left(\frac{7}{8}\right) \\
 &= 41.18^\circ \\
 R_B &= \arctan\left(\frac{x_{2B}}{y_{2B}}\right) \\
 &= \arctan\left(\frac{5,5}{9,09}\right) \\
 &= 31.18^\circ \\
 R_{AB} &= R_A - R_B \\
 &= 10^\circ
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Una vez obtenido la diferencia de angulos se corrige rotando el plano A respecto del B como se muestra en la figura 2.14.

Para completar el proceso y conseguir la alineación final resta escalar el plano A relacionando las dimensiones. Se muestra graficamente esta corrección en la figura 2.15 y se expresa en las ecuaciones 2.3.

$$\begin{aligned}
 S_{Ax} &= \frac{x_B}{x_A} \\
 &= \frac{12}{10} \\
 &= 1,2 \\
 S_{Ay} &= \frac{y_B}{y_A} = \frac{11}{10} \\
 &= 1,1
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

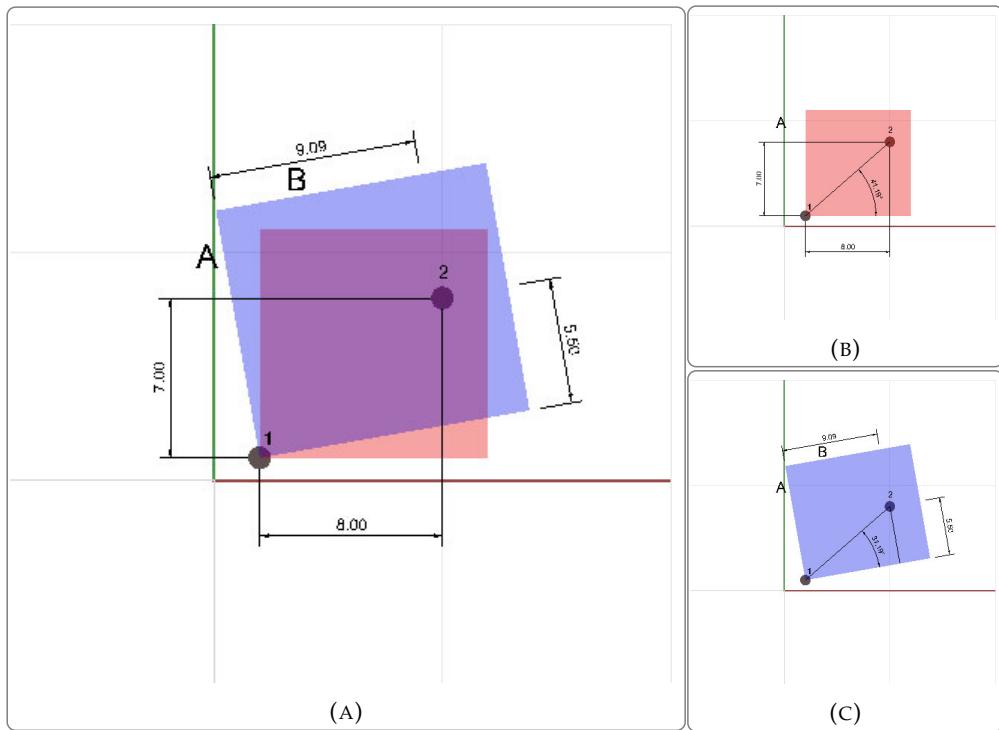


FIGURA 2.13. Calculo de rotacion conociendo las coordenadas relativas de dos puntos. a) Se calculas las coordenadas del punto 2 en cada sistema de coordenadas. b) Se calcula el angulo en el plano A. b) Se calculo el angulo en el plano B.

2.1.9. Detección y tipos de marcas fiduciales

Es posible utilizar diversas figuras geometricas e incluso colores para identificar la posición de una marca, sin embargo en el mercado grafico y de mecanizado quedo empiricamente establecido que las marcas son circulos o cuadrados de entre 1 y 10mm de diametro o lado. Para un efectivo reconocimiento de una marca utilizando una camara de video algunas consideraciones deben tenerse como ser:

- Maximizar el contraste entre el fondo del objeto y la marca
- Evitar irregularidades en el trazado del contorno
- De ser posible que la marca este pintada internamente y que no sea solo un contorno
- Que este alejada de bordes y otras figuras de la pieza
- En el caso de marcas cuadradas es posible tomar no solo el centro sino tambien el angulo
- En el caso de marcas circulares se logra mejor precision en la deteccion del centro

Algunos ejemplos de marcas fiduciales se muestran en la figura 2.16.

Para el alcance de este trabajo solo se utilizaran marcas geometricas llenas o contornos.

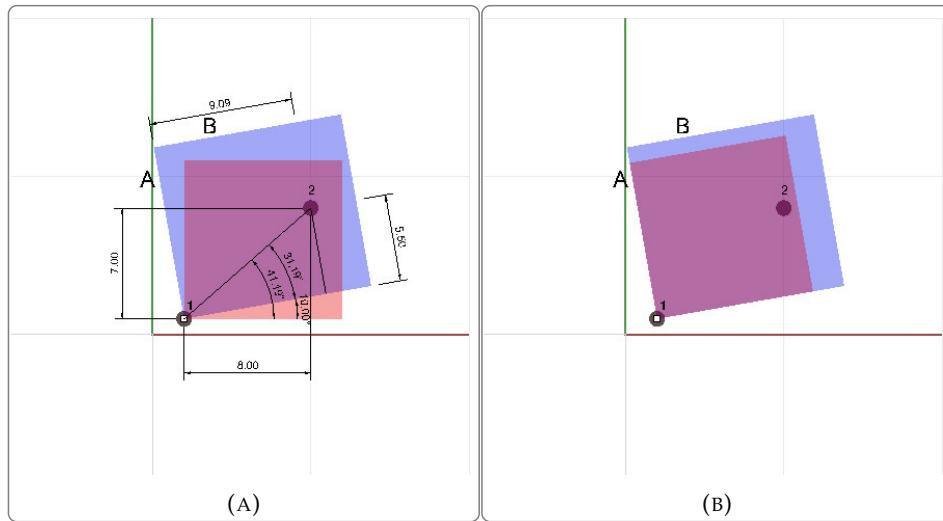


FIGURA 2.14. Corrección de la rotación. a) Se calcula la diferencia de angulos entre los planos b) se corrige rotando el plano A.

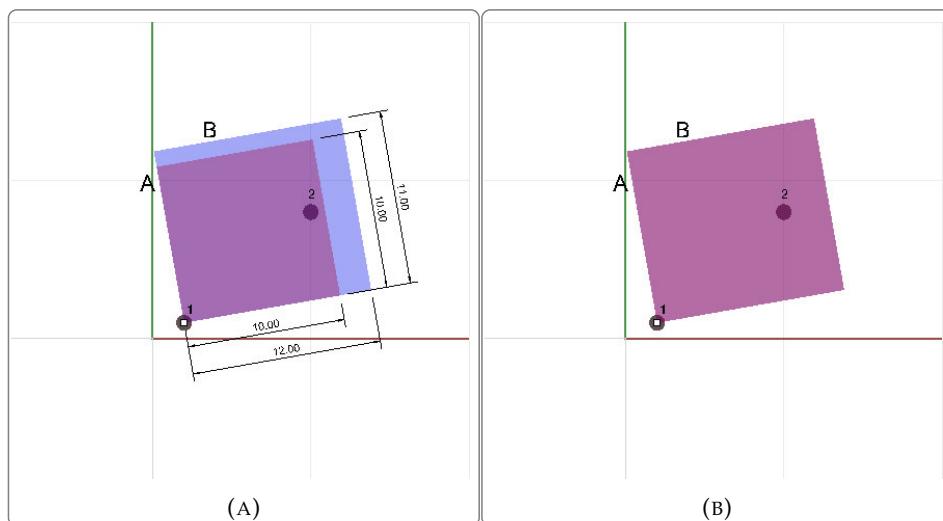


FIGURA 2.15. Corrección de la escala. a) Se calcula la diferencia de dimensiones en x e y b) Se corrige escalando el plano A.

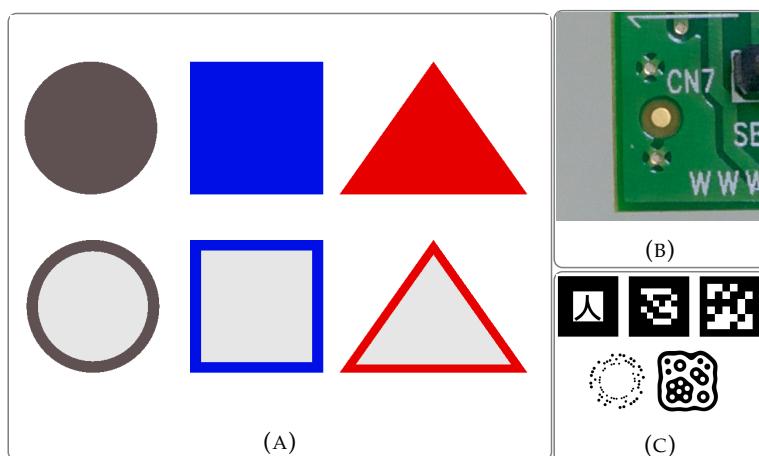


FIGURA 2.16. Ejemplo de diferentes tipos de marcas fiduciales. a) Figuras geométricas llenas o contorno b) Ejemplo de marcas fiducial en una placa de circuito impreso PCB. c) Marcas fiduciales codificadas.

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

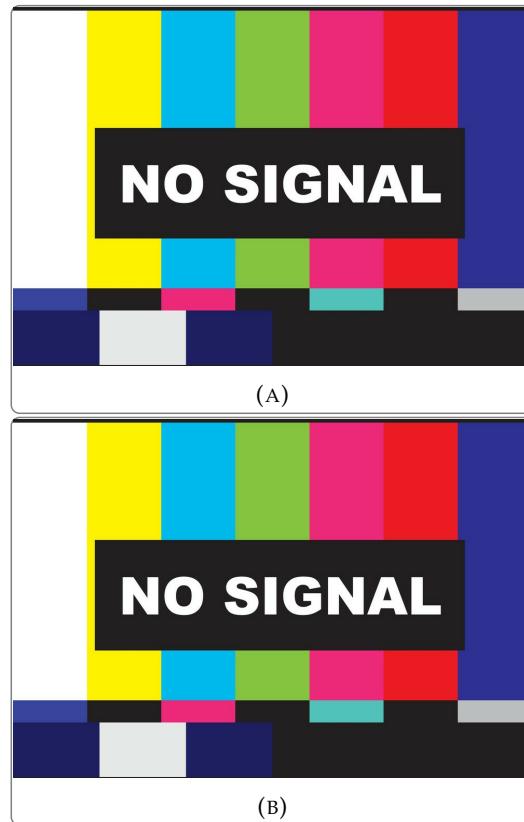


FIGURA 3.1. Mando a distancia del controlador NK105 a) Comunicacion por UART del estado de la botonera b) Envio de datos del controlador al LCD por SPI

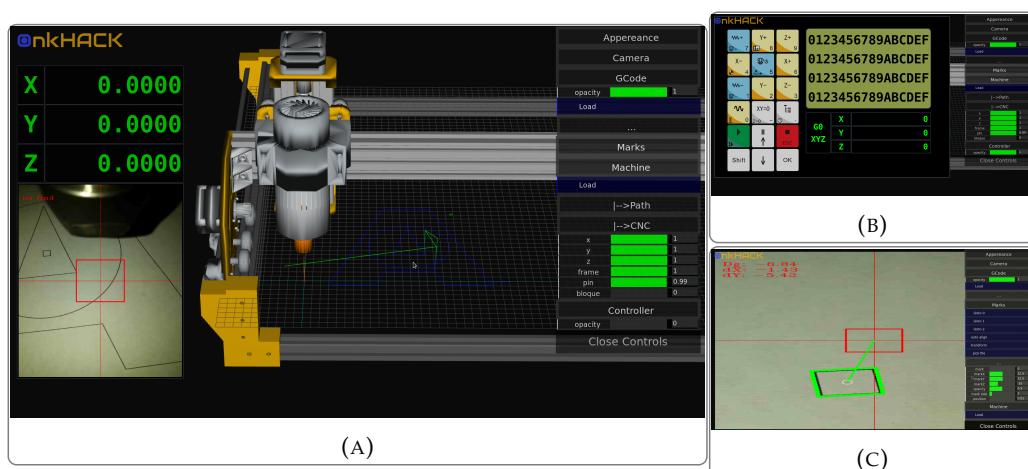


FIGURA 3.2. Aplicacion web desarrollada para controlar la maquina, transferir archivos, gestionar la deteccion de marcas, visualizar el trabajo a cortar en tiempo real, entre otras utilidades de configuracion.

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 pudo 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.
- [3] *Ecosistema de placas de desarrollo de proposito general.*
<https://http://beagleboard.org/>. (Visitado 02-02-2021).
- [4] <https://www.python.org/>.
- [5] <https://docs.python.org/3/library/asyncio.html>.
- [6] <https://docs.aiohttp.org/en/stable/>.
- [7] <https://en.wikipedia.org/wiki/HTML5>.
- [8] <https://en.wikipedia.org/wiki/CSS>.
- [9] <https://en.wikipedia.org/wiki/JavaScript>.
- [10] <https://get.webgl.org/>.
- [11] <https://https://threejs.org/>.
- [12] <https://en.wikipedia.org/wiki/WebSocket>.
- [13] <https://socket.io/>.
- [14] <https://opencv.org/>.
- [15] <https://pypi.org/project/pyopencv/>.
- [16] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.pas.webcam&hl=en&gl=US>.