



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	4
1.2. Problema de alineacion en 2D	6
1.3. Motivacion	8
2. Introducción específica	9
2.1. Descripcion tecnica	9
2.1.1. Uso de mayúscula inicial para los título de secciones	9
2.1.2. Este es el título de una subsección	9
2.1.3. Figuras	10
2.1.4. Tablas	11
2.1.5. Ecuaciones	12
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.	5
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.	6
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.	7
2.1.	Ilustración del cuadrado azul que se eligió para el diseño del logo.	10
2.2.	Imagen tomada de la página oficial del procesador ¹	11
2.3.	¿Por qué de pronto aparece esta figura?	11
2.4.	Tres gráficos simples	11

Índice de tablas

1.1. Modelos de controladores	4
1.2. Modelos de drivers	5
2.1. caption corto	12

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 algunas de las motivaciones para la realizacion de este trabajo y en el final se introduce la problematica de la alineacion de piezas en 2D.

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*).

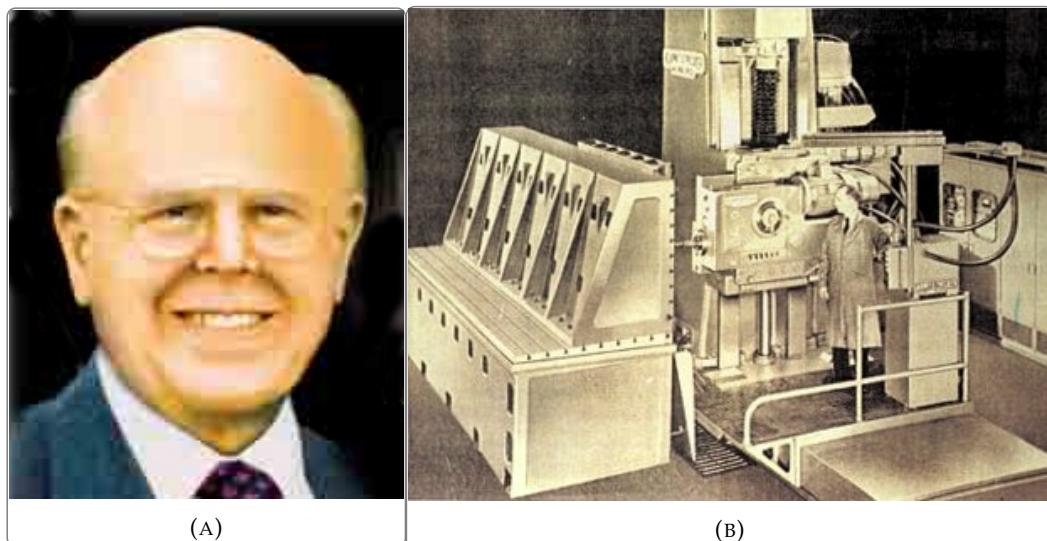


FIGURA 1.1. Jhon Parsons junto a una de sus maquinas, considerado el inventor de la maquina de control numerico NC.

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

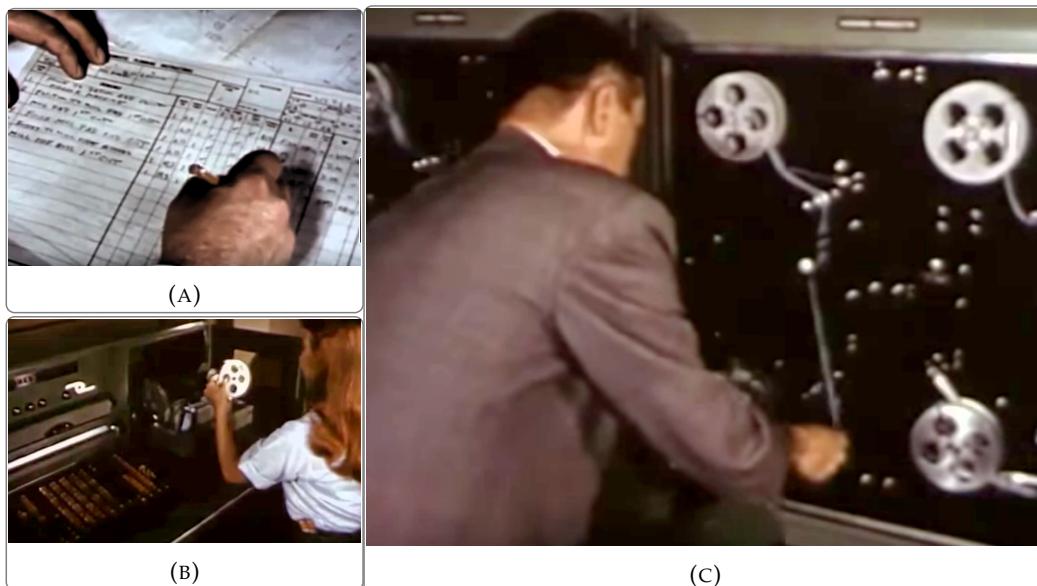


FIGURA 1.3. Secuencia de pasos para operar una maquina CNC primigenia. A) Ingeniero escribiendo en papel la lista de operaciones para mecanizar una pieza en lenguaje GCode. B) Operadora transcribiendo la lista de operaciones a una cinta plastica perforada. C) Lector de cinta multiperforada que controla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

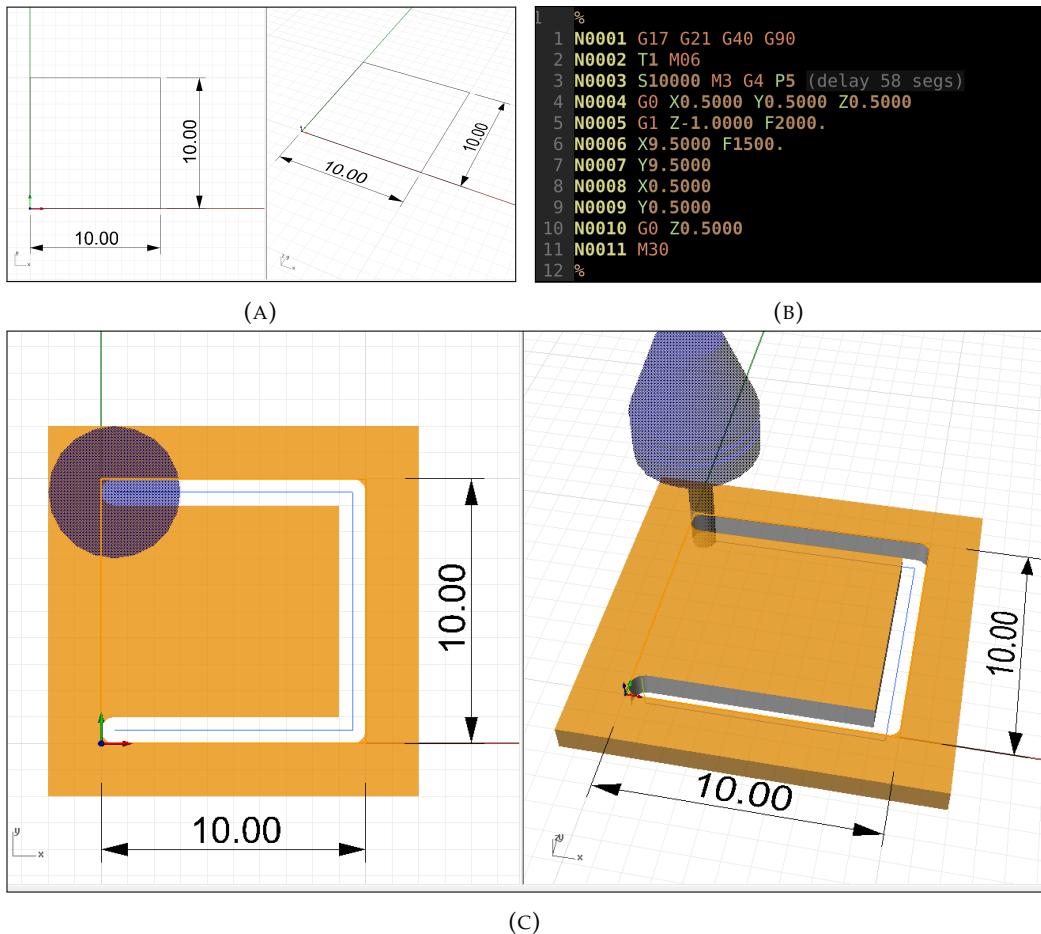


FIGURA 1.4. Secuencia de pasos para operar una maquina CNC moderna. A) Se diseña la pieza en el CAD. C) Se simula el proceso de corte en el CAM. C) Se exporta desde el CAM un archivo en lenguaje GCode con las instrucciones de maquina que leera el controlador.

1.1.2. Controlador

El controlador de movimientos es un equipo electrónico 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 lógico 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 autónomo profesional de gran performance y opciones de operación.	

1.1.3. Maquina

En términos generales la máquina 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

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.	

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.

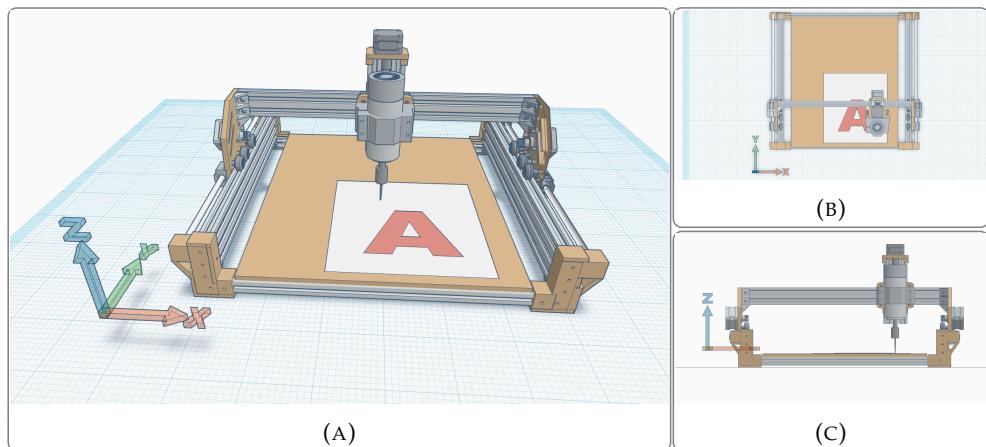


FIGURA 1.6. Esquema de una maquina de 3 ejes perpendiculares como las que se analizan en esta memoria.

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

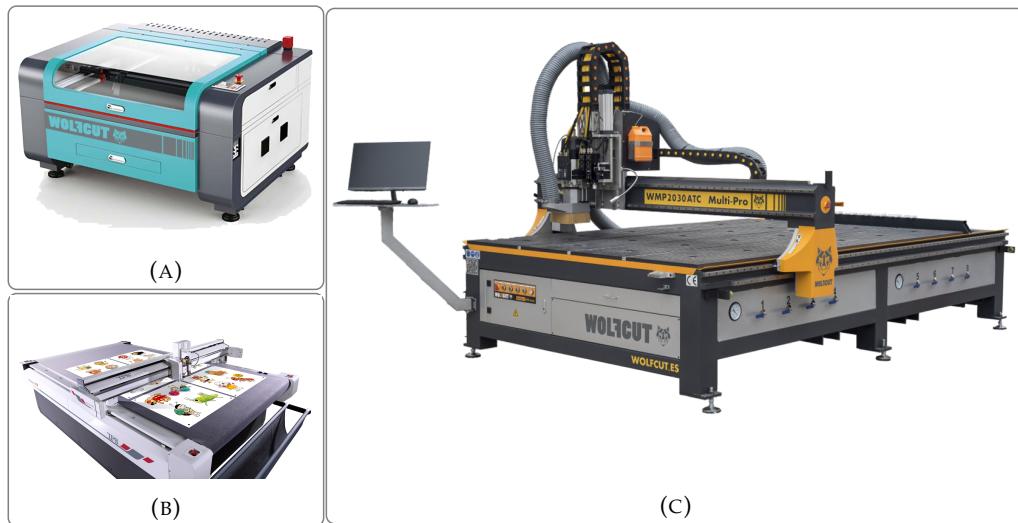


FIGURA 1.7. Maquinas CNC fabricadas por la empresa Wolfcut.
A) Fresadora de 3 ejes para corte y mecanizado de madera, plasticos, carton, aluminio, etc. B) Maquina de 2 ejes de corte por cuchilla para carton, papel, calcos, etc. C) Maquina de 3 ejes para corte y grabado laser de materiales plasticos,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

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.

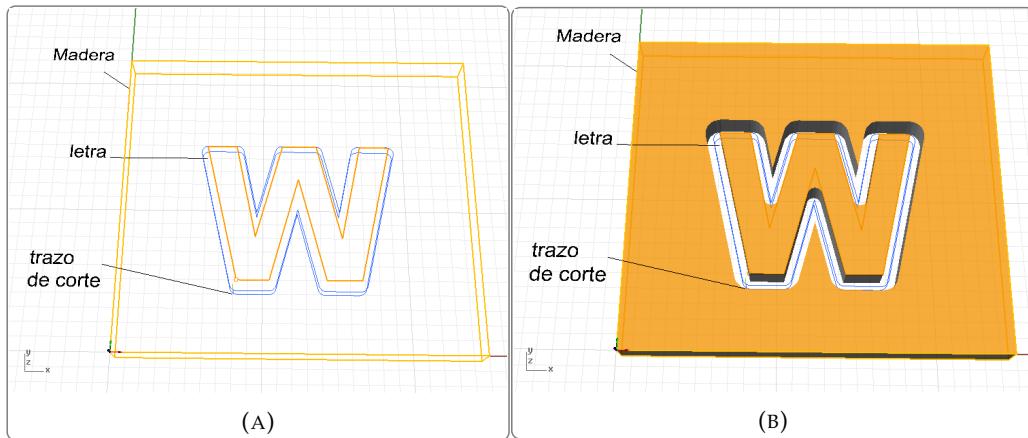


FIGURA 1.8. Ejemplo de mecanizado de una letra 'W' en una placa de madera virgen sin alineacion.

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

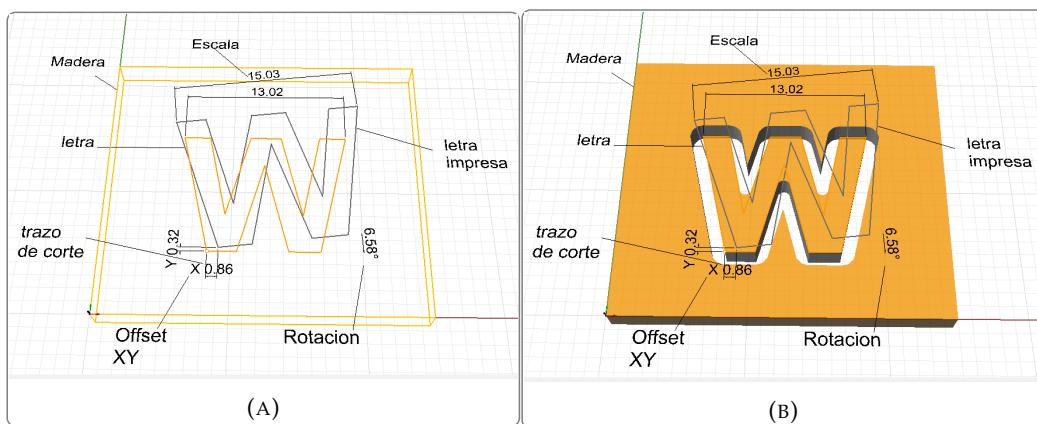


FIGURA 1.9. Ejemplo de mecanizado de una letra 'W' en una placa de madera previamente impresa pero que esta desplazada rotada y escalada segun el diseno original.

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 diseño 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 intervención manual que consume valioso tiempo del operario de la maquina y es muy propenso a errores. Los resultados de esta

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 anios en relacion a las caracteristicas tecnicas de los controladores de maquinas de mercado, se ha determinado que los controldores de rango bajo y medio no cuentan con caracteristicas tecnicas que permitan algun tipo de alineacion y transformacion en tiempo de operacion, mientras que los controladores de mayor performance lo permiten pero a un costo excesivo para el mercado de la empresa. La motivacion principal es lograr dotar de este tipo de solucion utilizando los controladores que actualmente comercializa la empresa y mantener sus productos competentes tanto en precio como en caracteristicas tecnicas.

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

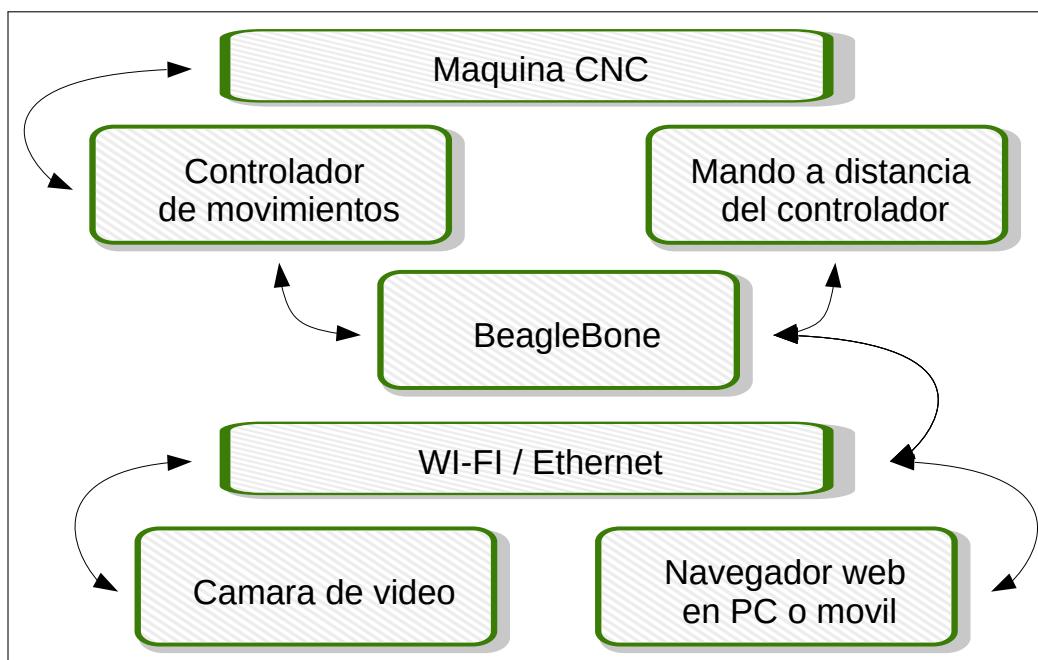


FIGURA 2.1. Los tres componentes básicos de una máquina CNC.

2.1.1. Uso de mayúscula inicial para los títulos de secciones

Si en el texto se hace alusión a diferentes partes del trabajo referirse a ellas como capítulo, sección o subsección según corresponda. Por ejemplo: “En el capítulo 1 se explica tal cosa”, o “En la sección ?? se presenta lo que sea”, o “En la subsección 2.1.2 se discute otra cosa”.

Cuando se quiere poner una lista tabulada, se hace así:

- Este es el primer elemento de la lista.
- Este es el segundo elemento de la lista.

Notar el uso de las mayúsculas y el punto al final de cada elemento.

Si se desea poner una lista numerada el formato es este:

1. Este es el primer elemento de la lista.
2. Este es el segundo elemento de la lista.

Notar el uso de las mayúsculas y el punto al final de cada elemento.

2.1.2. Este es el título de una subsección

Se recomienda no utilizar **texto en negritas** en ningún párrafo, ni tampoco texto subrayado. En cambio sí se debe utilizar *texto en itálicas* para palabras en un idioma extranjero, al menos la primera vez que aparecen en el texto. En el caso de palabras que estamos inventando se deben utilizar “comillas”, así como también para citas textuales. Por ejemplo, un *digital filter* es una especie de “selector” que permite separar ciertos componentes armónicos en particular.

La escritura debe ser impersonal. Por ejemplo, no utilizar “el diseño del firmware lo hice de acuerdo con tal principio”, sino “el firmware fue diseñado utilizando tal principio”.

El trabajo es algo que al momento de escribir la memoria se supone que ya está concluido, entonces todo lo que se refiera a hacer el trabajo se narra en tiempo pasado, porque es algo que ya ocurrió. Por ejemplo, “se diseñó el firmware empleando la técnica de test driven development”.

En cambio, la memoria es algo que está vivo cada vez que el lector la lee. Por eso transcurre siempre en tiempo presente, como por ejemplo:

“En el presente capítulo se da una visión global sobre las distintas pruebas realizadas y los resultados obtenidos. Se explica el modo en que fueron llevados a cabo los test unitarios y las pruebas del sistema”.

Se recomienda no utilizar una sección de glosario sino colocar la descripción de las abreviaturas como parte del mismo cuerpo del texto. Por ejemplo, RTOS (*Real Time Operating System*, Sistema Operativo de Tiempo Real) o en caso de considerarlo apropiado mediante notas a pie de página.

Si se desea indicar alguna página web utilizar el siguiente formato de referencias bibliográficas, dónde las referencias se detallan en la sección de bibliografía de la memoria, utilizado el formato establecido por IEEE en [3]. Por ejemplo, “el presente trabajo se basa en la plataforma EDU-CIAA-NXP [4], la cual...”.

2.1.3. Figuras

Al insertar figuras en la memoria se deben considerar determinadas pautas. Para empezar, usar siempre tipografía claramente legible. Luego, tener claro que **es incorrecto** escribir por ejemplo esto: “El diseño elegido es un cuadrado, como se ve en la siguiente figura:”

La forma correcta de utilizar una figura es con referencias cruzadas, por ejemplo: “Se eligió utilizar un cuadrado azul para el logo, como puede observarse en la figura 2.1”.



FIGURA 2.2. Ilustración del cuadrado azul que se eligió para el diseño del logo.

El texto de las figuras debe estar siempre en español, excepto que se decida reproducir una figura original tomada de alguna referencia. En ese caso la referencia de la cual se tomó la figura debe ser indicada en el epígrafe de la figura e incluida como una nota al pie, como se ilustra en la figura 2.2.



FIGURA 2.3. Imagen tomada de la página oficial del procesador¹.

La figura y el epígrafe deben conformar una unidad cuyo significado principal pueda ser comprendido por el lector sin necesidad de leer el cuerpo central de la memoria. Para eso es necesario que el epígrafe sea todo lo detallado que corresponda y si en la figura se utilizan abreviaturas entonces aclarar su significado en el epígrafe o en la misma figura.

Nunca colocar una figura en el documento antes de hacer la primera referencia a ella, como se ilustra con la figura 2.3, porque sino el lector no comprenderá por qué de pronto aparece la figura en el documento, lo que distraerá su atención.

Otra posibilidad es utilizar el entorno *subfigure* para incluir más de una figura, como se puede ver en la figura 2.4. Notar que se pueden referenciar también las figuras internas individualmente de esta manera: 2.4a, 2.4b y 2.4c.

El código para generar las imágenes se encuentra disponible para su reutilización en el archivo **Chapter2.tex**.

2.1.4. Tablas

Para las tablas utilizar el mismo formato que para las figuras, sólo que el epígrafe se debe colocar arriba de la tabla, como se ilustra en la tabla 2.1. Observar que

¹Imagen tomada de <https://goo.gl/images/i7C70w>



FIGURA 2.4. ¿Por qué de pronto aparece esta figura?



(A) Un caption.



(B) Otro.



(C) Y otro más.

FIGURA 2.5. Tres gráficos simples

sólo algunas filas van con líneas visibles y notar el uso de las negritas para los encabezados. La referencia se logra utilizando el comando `\ref{<label>}` donde `label` debe estar definida dentro del entorno de la tabla.

```
\begin{table} [h]
\centering
\caption[caption corto]{caption largo más descriptivo}
\begin{tabular}{l c c}
\toprule
\textbf{Especie} & \textbf{Tamaño} & \textbf{Valor} \\
\midrule
Amphiprion Ocellaris & 10 cm & \$ 6.000 \\
Hepatus Blue Tang & 15 cm & \$ 7.000 \\
Zebrasoma Xanthurus & 12 cm & \$ 6.800 \\
\bottomrule
\hline
\end{tabular}
\label{tab:peces}
\end{table}
```

TABLA 2.1. caption largo más descriptivo

Especie	Tamaño	Valor
Amphiprion Ocellaris	10 cm	\$ 6.000
Hepatus Blue Tang	15 cm	\$ 7.000
Zebrasoma Xanthurus	12 cm	\$ 6.800

En cada capítulo se debe reiniciar el número de conteo de las figuras y las tablas, por ejemplo, figura 2.1 o tabla 2.1, pero no se debe reiniciar el conteo en cada sección. Por suerte la plantilla se encarga de esto por nosotros.

2.1.5. Ecuaciones

Al insertar ecuaciones en la memoria dentro de un entorno *equation*, éstas se numeran en forma automática y se pueden referir al igual que como se hace con las figuras y tablas, por ejemplo ver la ecuación 2.1.

$$ds^2 = c^2 dt^2 \left(\frac{d\sigma^2}{1 - k\sigma^2} + \sigma^2 [d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2] \right) \quad (2.1)$$

Es importante tener presente que si bien las ecuaciones pueden ser referidas por su número, también es correcto utilizar los dos puntos, como por ejemplo "la expresión matemática que describe este comportamiento es la siguiente:"

$$\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + V(\mathbf{r}) \Psi = -i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} \quad (2.2)$$

Para generar la ecuación 2.1 se utilizó el siguiente código:

```
\begin{equation}
\label{eq:metric}
ds^2 = c^2 dt^2 \left( \frac{d\sigma^2}{1 - k\sigma^2} + \sigma^2 [d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2] \right)
\end{equation}
```

Y para la ecuación 2.2:

```
\begin{equation}
\label{eq:schrodinger}
\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + V(\mathbf{r}) \Psi = -i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}
\end{equation}
```


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] IEEE. *IEEE Citation Reference.* 1.^a ed. IEEE Publications, 2016. URL: <http://www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf> (visitado 26-09-2016).
- [4] Proyecto CIAA. *Computadora Industrial Abierta Argentina.* Visitado el 2016-06-25. 2014. URL: <http://proyecto-ciaa.com.ar/devwiki/doku.php?id=start>.